

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-221008

(43)Date of publication of application : 11.08.2000

(51)Int.Cl.

G01B 11/02
G01N 21/23
G02B 21/00

(21)Application number : 11-025156

(71)Applicant : NIPPON MAXIS:KK

(22)Date of filing : 02.02.1999

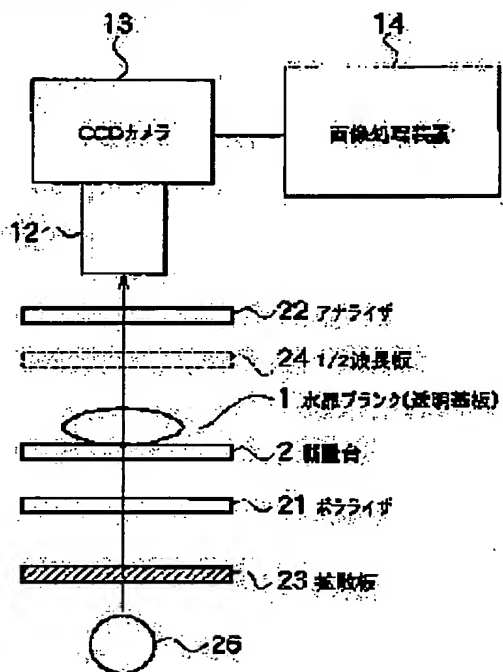
(72)Inventor : KOBAYASHI SATORU

(54) METHOD AND DEVICE FOR INSPECTING TRANSPARENT SUBSTRATE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform rapidly 100% inspection of appropriateness of a cross section in convex working by use of a polarization observation method.

SOLUTION: First, with the use of a reference sample of transparent substrate, an analyzer 22 or a polarizer 21 is rotated so as to maximize a luminance in the center of the same cross section of the reference sample, then the luminance is computed. By inserting a 1/2-wavelength plate 24 into an optical path at an angle of 22.5° , an optical phase difference is shifted by 45° , then the luminance in the center is computed. A sinusoidal waveform passing through both points of the luminance maximum value in the center and the luminance value for the phase difference 45° is computed. This sinusoidal waveform is regarded as a reference luminance distribution waveform in the same cross section of the reference sample provided by visualization of the phase difference. Next, with the use of a crystal blank 1 to be inspected, the luminance in the same cross section of the reference sample is computed, then a luminance distribution waveform is detected. By comparing this detected luminance distribution waveform with the reference luminance distribution waveform, a thickness in the same cross section of the transparent substrate is relatively inspected.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIP I are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Make light from the light source polarization with a polarizer, and it is given to the transporence substrate which consists of a birefringence medium which carried out convex processing. Pass the light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to said polarization with an analyzer from the light which passed said transporence substrate, and the phase contrast by the difference in the thickness of said transporence substrate is visualized by polarization interference. In the inspection approach of a transporence substrate of having been made to inspect processing workmanship of said transporence substrate The inspection approach of a transporence substrate of comparing the luminance distribution in the same cross section of said transporence substrate which visualizes said phase contrast and is obtained with the criteria luminance distribution searched for beforehand, and having inspected the thickness in the same cross section of said transporence substrate.

[Claim 2] The inspection approach of a transporence substrate according to claim 1 by which the luminance distribution in the same cross section of said transporence substrate which visualizes the phase contrast by the difference in the thickness of said transporence substrate, and is obtained is shown with a sin function with a degree type and correlation.

$P = (n_e - n_0) t$ and $2\pi / \lambda$, however λ : Wavelength n_0 of the light source : Refractive index n_e of an ordinary ray : Thickness t of the refractive-index transporence substrate of an extraordinary ray] P : Phase contrast between interference fringes [claim 3] the inspection approach of a transporence substrate according to claim 2 — setting — (1) — so that the core of the luminance distribution in the same cross section of said correlation sample which visualizes the phase contrast by the difference in the thickness of the correlation sample of a transporence substrate, and is obtained may serve as max first Rotate said analyzer or said polarizer and the maximum of the brightness at that time is calculated. (2) Insert $1/2$ wavelength plate at the include angle of 22.5 degrees to an optical axis, and 45 degrees of phase contrast of light are shifted. The sin wave which passes along two points, the maximum of the brightness of said core and the brightness value of 45 degrees of said phase contrast, is searched for. the brightness value of said core at that time — asking — (3) — It is considered that this sin wave is a criteria luminance distribution wave in the same cross section of said correlation sample which visualizes phase contrast and is obtained. (4) Detect a luminance distribution wave from the luminance distribution in the same cross section of said transporence substrate which visualizes next the phase contrast by the difference in the thickness of the transporence substrate which it is going to inspect, and is obtained, and (5) detection luminance distribution wave is compared with a criteria luminance distribution wave. The inspection approach of a transporence substrate of having inspected the thickness in the same cross section of said transporence substrate.

[Claim 4] The inspection approach of the transporence substrate it was made to rotate 45 degrees of said analyzers or polarizers in the inspection approach of a transporence substrate according to claim 3 instead of inserting $1/2$ wavelength plate of the above (2).

[Claim 5] The light source for polarization observation which irradiates the light which is not polarizing towards the transporence substrate which consists of a birefringence medium which

carried out convex processing, The polarizer which makes polarization exposure light from said light source for polarization observation, and irradiates a transporence substrate, The analyzer which detects the light of a polarization condition which makes the predetermined include angle which penetrated said transporence substrate, An image pick-up means to picturize the transporence substrate of the polarization observation light which passed said analyzer, and to visualize the phase contrast by the difference in the thickness of said transporence substrate by polarization interference, Test equipment of the transporence substrate equipped with a comparison means to carry out the image processing of the image visualized with said image pick-up means, to compare the image-processing means and detection transporence substrate luminance distribution which detect the luminance distribution in the same cross section with the criteria luminance distribution searched for from the correlation sample, and to inspect the thickness in the same cross section of a transporence substrate.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to what started the inspection approach of a transparence substrate, and equipment, especially enabled inspection of the thickness of a convex type transparence substrate on real time by the polariscopy.

[0002]

[Description of the Prior Art] Carrying out beveling (beveling) processing of the periphery of the plate-like type Xtal blank as the technique of improving the property of a quartz resonator is performed. Advancing furthermore, carrying out convex processing of the plate-like type Xtal blank, and considering as a lens configuration is also performed. In order to perform beveling processing and convex processing, a cylindrical barrel processing system processible extensive is adopted in common. This grinds, while putting in Abrasives g with many Xtal blanks 1 in the cylindrical barrel 41 and rotating the cylindrical barrel 41, as shown in drawing 18 . Although there is an inclination which will serve as beveling processing if it grinds comparatively for a short time, and will serve as convex processing if it applies for a long time and grinds, since various conditions work, it cannot conclude. In order to make [which has good repeatability] the property of a quartz resonator good, beveling and convex dimensional accuracy by the above-mentioned method are raised, and it is necessary to make it right and left and fluctuating become symmetrical.

[0003] Beveling processing differs from a convex processing condition at the Xtal substrate number of sheets which supplies said cylindrical barrel processing system, an abrasives kind, an engine speed, temperature, etc., and in these conditions, even if the same, the always same beveling condition thru/or a convex configuration are not necessarily acquired. Although the Xtal substrate manufacturer has a large place depending on a proprietary know how, the present condition is that the know-how also has an uncertain element, and can succeed, or cannot go, and can never maintain the same beveling and convex dimensional accuracy, but the accidental element is also mixed. In order to raise beveling thru/or convex dimensional accuracy, the beveling condition and convex configuration of the Xtal blank side are evaluated, and establishment of the detection method which can feed back the result to beveling processing or convex processing is needed.

[0004] Beveling processing attaches a very minute blemish, since it is materialized by shaving off surface [a part of], in the usual light field observation, a significant difference with a non-beveling part does not come out, and the beveling condition of the Xtal blank side cannot be inspected by an operator's visual inspection or image processing technique. Moreover, in convex processing, although materialized by shaving off surface [a part of] similarly, a surface polish condition cannot be grasped in the usual light field observation, and the convex processing workmanship of the Xtal blank side cannot be inspected by an operator's visual inspection or conventional image processing technique.

[0005] For this reason, it could not but depend for the conventional beveling inspection thru/or convex processing finish-turn inspection on the physical approach of the (1) pen-recorder method, (2) level measuring methods, and (3) projection.

[0006] (1) The Xtal blank side is scanned by the pen recorder method probe, it is the approach of recording the locus using a pen recorder, and the surface height which met in the scanning direction of a probe can be measured. In the convex type case, since stability is bad, fixing to an installation base with adhesives is performed.

[0007] (2) It is an approach using a level measuring method laser height measurement machine, and is the approach of vapor-depositing the silver film for reflection at the rear face of the Xtal blank, and carrying out a sweep (scan) in the direction of a path (the direction of a straight line), irradiating a laser beam on the front face of the Xtal blank, and measuring the level on a straight line from the reflected light. According to this, as shown in drawing 19, the surface height which met in said direction of a straight line of the Xtal blank can measure continuously, and the condition of beveling thru/or convex processing can be known from surface height. A continuous line shows beveling among drawing and an alternate long and short dash line shows a convex. In addition, in the convex type case, since stability is bad, fixing to an installation base with adhesives is performed.

[0008] (3) It is the approach of applying carbon powder (black) to the front face of a projection Xtal blank, pushing a translucent film and thin paper on it, and making a film and thin paper imprinting carbon powder. The imprinted film is expanded and projected on a screen. Since carbon adheres to the part by which beveling is not carried out, the imprint situation of carbon powder shows a beveling condition visually. This approach is inapplicable to a convex type.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, there were the following problems in the conventional method mentioned above.

[0010] (1) since only the data on the straight line in which the height measuring accuracy of the pen recorder method polished surface was bad, and scanned the Xtal blank are obtained -- the whole surface of the Xtal blank -- beveling -- or convex inspection cannot be carried out. It becomes impossible moreover, to use the inspected sample, when it becomes a sampling inspection and inspection takes time amount. Furthermore, in a convex type case, the troublesome activity of fixing with adhesives further is needed.

[0011] (2) although the height of a level measuring method polished surface can be measured with a sufficient precision, since only the data on the straight line which scanned the Xtal blank are obtained -- the whole surface of the Xtal blank -- beveling -- or convex inspection cannot be carried out. Although field data will not be obtained if the horizontal scan is shifted perpendicularly, it is not avoided that escape and data arise corresponding to a vertical pitch. Therefore, inspection of the whole Xtal blank surface becomes difficult. It becomes impossible moreover, to use the inspected sample, when it becomes a sampling inspection and inspection takes time amount, since it is necessary to give silver vacuum evaporation to a rear face. In addition, in a convex type case, the troublesome activity of fixing with adhesives further is needed.

[0012] (3) Although it can inspect over the whole projection Xtal blank surface, since it is necessary to sample and imprint and project, it becomes a sampling inspection and inspection takes time amount very much. Moreover, since it is visual observation, checking data cannot be taken. Moreover, inspection of convex processing cannot be performed.

[0013] Thus, no approaches of of (1), (2), and (3) can be inspected on real time, but also require time amount. Moreover, since the unified detection method is unestablishable, beveling inspection thru/or a standardization of convex processing workmanship cannot be performed, either. Moreover, since suitable data cannot be taken, it cannot feed back effective in a beveling processing technique thru/or a convex processing technique.

[0014] Moreover, variation also produces etching by the acid treatment to which beveling differs from a convex processing condition and it is carried out further after that for every batch method which treats beveling processing thru/or convex processing in large quantities, therefore Xtal blank. Since the time limits/maintenance check had not become settled in spite of it, it became difficult to determine tolerance and there was a problem of having treated an excellent article as a defective or using a defective as an excellent article.

[0015] By the way, a flaw detection and profile (dimension) inspection are also demanded of the

Xtal substrate besides beveling inspection. Recently, the proposal that a dark field observational method is effective in these inspection is made (patent No. 2821460). Then, since the minute blemish attached at the time of beveling processing remained in the front face when this approach was applied to beveling inspection, and it was before etching also after beveling processing, it turned out that it is effective. However, since a front face was graduated and a minute blemish disappeared from a front face after etching, it turned out that a dark field observational method is inapplicable. Moreover, it turned out that it is inapplicable also to the Xtal substrate of the convex type with which thickness differs by the center and the periphery. Compared with beveling processing, the front face is finished in homogeneity, and the convex type Xtal substrate is because detection is difficult in a dark field observational method.

[0016] The technical problem of this invention is to offer the inspection approach of the transparence substrate which the trouble of the conventional technique is canceled and can inspect the cross-section configuration of a transparence substrate objective by the image processing, and its equipment.

[0017]

[Means for Solving the Problem] The place made into the summary of this invention enables it to inspect the cross-section configuration of the transparence substrate of the convex type which was not able to be inspected in a dark field observational method by the image processing by introducing the polariscopy by that the workmanship condition of a convex type transparence substrate with thickness which is different in the same cross section can be imaged, and the polariscopy.

[0018] Carry out 1st invention to polarization with a polarizer, and it gives the light from the light source to the transparence substrate which consists of a birefringence medium which carried out convex processing. Pass the light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to said polarization with an analyzer from the light which passed said transparence substrate, and the phase contrast by the difference in the thickness of said transparence substrate is visualized by polarization interference. In the inspection approach of a transparence substrate of having been made to inspect processing workmanship of said transparence substrate It is the inspection approach of a transparence substrate of comparing the luminance distribution in the same cross section of said transparence substrate which visualizes said phase contrast and is obtained with the criteria luminance distribution searched for beforehand, and having inspected the thickness in the same cross section of said transparence substrate. Generally as convex processing, there are grinding thru/or polish, and etching. A quartz resonator, the Xtal blank for filters, etc. are contained in said transparence substrate. Moreover, the thickness and the cross-section configuration in a core are included in the thickness in the same cross section of a transparence substrate.

[0019] When giving thickness which performs convex processing to a transparence substrate and is different in the same cross section, it is necessary to inspect the thickness seen from the cross section. If make light from the light source polarization, it is given to the transparence substrate which performed said processing, the light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to polarization from the light which passed the transparence substrate is passed and the transparence substrate of this light is picturized, phase contrast will arise by difference of thickness and the interference fringe which consists of ** and dark will emerge on the image of a transparence substrate. If said light and darkness are plotted further in the same cross section, luminance distribution will be acquired from this image. This luminance distribution has the thickness in the same cross section of a transparence substrate, and correlation. Therefore, if the luminance distribution wave of the detected transparence substrate is compared with the criteria luminance distribution wave searched for beforehand, since the amount of gaps of a detection luminance distribution wave to a criteria luminance distribution wave is known, the relative thickness of a transparence substrate can be inspected.

[0020] Moreover, it is desirable that there are a degree type and correlation of the luminance distribution in the same cross section of said transparence substrate which visualizes the phase contrast by the difference in the thickness of said transparence substrate, and is obtained.

[0021] $P = (n_e - n_0) t$ and $2\pi/\lambda$, however λ : Wavelength n_0 of the light source :

Refractive index n_e of an ordinary ray : Thickness [of the refractive-index t :transparence substrate of an extraordinary ray] P : Phase contrast between interference fringes [0022]
 Moreover, as for said inspection, it is desirable to be carried out in the following procedure.
 [0023] (1) So that the core of the luminance distribution in the same cross section of said correlation sample which visualizes the phase contrast by the difference in the thickness of the correlation sample of a transparence substrate, and is obtained may serve as max first Rotate said analyzer or said polarizer and the maximum of the brightness at that time is calculated. It is alike to an optical axis, insert $1/2$ wavelength plate at the include angle of 22.5 degrees, and 45 degrees of phase contrast of light are shifted. (2) -- The sin wave which passes along two points, the maximum of the brightness of said core and the brightness value of 45 degrees of said phase contrast, is searched for. the brightness value of said core at that time -- asking -- (3) -- It is considered that this sin wave is a criteria luminance distribution wave in the same cross section of said correlation sample which visualizes phase contrast and is obtained. (4) A luminance distribution wave is detected from the luminance distribution in the same cross section of said transparence substrate which visualizes next the phase contrast by the difference in the thickness of the transparence substrate which it is going to inspect, and is obtained, (5) detection luminance distribution wave is compared with a criteria luminance distribution wave, and the thickness in the same cross section of said transparence substrate is inspected.

[0024] It may replace with a sin wave and a cos wave is sufficient.

[0025] Since a useful dark field observational method cannot be applied when inspecting the processing workmanship of a convex type transparence substrate, and inspecting a blemish, especially the 1st above mentioned invention is useful. A transparence substrate is desirable especially when it is the Xtal blank for quartz resonators.

[0026] The light source for polarization observation which irradiates the light which is not polarizing towards the transparence substrate which consists of a birefringence medium which carried out convex processing of the 2nd invention, The polarizer which makes polarization exposure light from said light source for polarization observation, and irradiates a transparence substrate, The analyzer which detects the light of a polarization condition which makes the predetermined include angle which penetrated said transparence substrate, An image pick-up means to picturize the transparence substrate of the polarization observation light which passed said analyzer, and to visualize the phase contrast by the difference in the thickness of said transparence substrate by polarization interference, It is test equipment of the transparence substrate equipped with a comparison means to carry out the image processing of the image visualized with said image pick-up means, to compare an image-processing means to detect the luminance distribution in the same cross section with detection transparence substrate luminance distribution and the criteria luminance distribution searched for from the correlation sample, and to inspect the thickness in the same cross section of a transparence substrate.

[0027] This can enforce the invention approach of the above 1st appropriately according to easy structure, and can make cheap the installation cost and maintenance running cost.

[0028]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of this invention is explained using a drawing below. Drawing 1 is the outline block diagram showing 1 operation gestalt which applied the test equipment for enforcing the inspection approach of the transparence substrate concerning this invention to the convex type Xtal blank for quartz resonators.

[0029] The diffusion plate 23 which said test equipment makes diffuse the light of the source 26 of the homogeneous light without polarization, and the light source 26, and irradiates homogeneity, The polarizer 21 which makes light from the diffusion plate 23 polarization, and the installation base 2 which carries the Xtal blank 1 as a transparence substrate which consists of a birefringence medium, The light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to said polarization from the light which passed the Xtal blank 1 is passed, and it consists of an analyzer 22, an objective lens 12, CCD camera 13 that is an image pick-up means, and a monochrome image processing system 14. As the above-mentioned source 26 of the homogeneous light, brightness is high here and the red LED which is 660nm with a long life is

used. In addition, after each forms said polarizer 21, the installation base 2, and an analyzer 22 free [rotation] and they adjust angle of rotation, they are constituted so that it can fix. Both the distance of a polarizer 21 and the installation base 2 and the distance of an analyzer 22 and the installation base 2 are so good that they are short. Moreover, the condensing lens for making the Xtal blank 1 condense if needed may be prepared between the diffusion plate 23 and a polarizer 21, or the compensator for making the Xtal blank image come up from a background vividly may be inserted between an analyzer 22 and the installation base 2. Furthermore, between an analyzer 22 and the Xtal blank 1, $1/2$ wavelength plate 24 can be inserted at the include angle of 22.5 degrees to an optical axis, and 45 degrees of phase contrast of light can be shifted now. In addition, $1/2$ wavelength plate 24 may be inserted between the installation base 2 and a polarizer 21.

[0030] The Xtal blank which mainly becomes a subject of examination with said test equipment Besides the Xtal blank 1 of the convex type of both convex type with which the periphery became thin like drawing 2 (a), and the center section became thick An abbreviation plate-like type is wrapped like drawing 2 (b) (step 101). After carrying out beveling processing and carrying out polish processing of the periphery (step 102), there is a Xtal blank 17 of beveling processing which carried out etching processing further (step 103), and made the whole surface the smooth side except for the periphery. As an abbreviation plate-like Xtal blank by which beveling processing was carried out, in the case of-like [strip-of-paper], magnitude is usually $1 \times 3 \text{ mm} - 3 \times 10 \text{ mm}$, for example, and thickness is 30 micrometers - about 500 micrometers. The configuration of the Xtal blank 17 has a rectangle and not only a rectangle but the thing of the configuration of circular and others with a diameter of about 4-8mm. In addition, the same is almost said of a convex type configuration.

[0031] Said image processing system 14 shown in drawing 1 captures the image of the Xtal blank 1 picturized with CCD camera 13, for example, performs are recording of processing data, or judgment processing of processing workmanship based on the description which extracted and extracted the description like binary-ized processing.

[0032] The illumination light from the light source 26 is diffused with the diffusion plate 23, by penetrating a polarizer 21, it is changed into the linearly polarized light and incidence is carried out to the Xtal blank 1 on the installation base 2. The linearly polarized light which carried out incidence to the Xtal blank 1 is divided into an ordinary ray and an extraordinary ray, and since phase lag produces these beams of light on another side to one side, interference breaks out. Interference changes with phase contrast and reinforcement (amplitude), and phase contrast becomes settled with thickness t of the Xtal blank 1, and wavelength λ (refer to drawing 3 (b)), and reinforcement becomes settled according to the linearly polarized light from a polarizer 21, the principal plane of the Xtal blank 1, and the angle θ to make.

[0033] For example, a boundary region serves as an umbra, a central field serves as a bright section, and the phase contrast by the difference in thickness is visualized. Therefore, the light which carries out outgoing radiation of the analyzer 22 for the light denied the light which suits in slight strength mutually turns into an interference light of strength among the white light. This interference light penetrates an objective lens 12, and it carries out incidence to CCD camera 13. The image of the Xtal blank 1 is changed into an electrical signal by CCD camera 13, and is transmitted to an image processing system 14 by it. In an image processing system 14, statistics processing is performed so that the umbra produced in the periphery and the bright section produced in the center section can distinguish clearly. For example, contrast enhancement processing with an umbra and a bright section is carried out by binary-ized processing (drawing 3 (a)). By measuring the umbra or bright section after processing, processing workmanship, such as past [shaving], and lack of shaving or symmetric property, is inspected.

[0034] In addition, although other observational methods mentioned above, such as a phase contrast observational method, a differential interference observational method, and a modulation contrast observational method, are considered by the observational method applicable to processing finish-turn inspection besides the polariscopy, the light source of having adopted the polariscopy with the gestalt of operation is good at LED, and polarizing filters, such as a polarizer and an analyzer, are easy to be the things of extent which stick a polarization film

on a glass plate, and it is because it is cheap and the easiest.

[0035] A ** type-izing [drawing 4 (a) / the image pick-up image of the Xtal blank 1 by the polariscopy of drawing 1]. The Xtal blank 1 is a convex type as mentioned above. It is an image when the homogeneous light is used for the light source 26, a polarizer 21, an analyzer 22, and the installation base 2 are rotated mutually and an interference fringe appears in the periphery of the Xtal blank 1 most clearly. since, as for the periphery with thin thickness, phase contrast $\Delta\phi$ will be odd times π and, as for the center section where thickness is thick, phase contrast $\Delta\phi$ will be even times π in "dark" ** -- "**" -- **** -- ** in addition, the four corners of the Xtal blank 1 -- "**" -- **** -- ** is considered to be because for the stress by processing, the lens effectiveness, etc. to a birefringence to become large, and is a phenomenon different from the interference fringe by the thickness mentioned above.

[0036] On the other hand, drawing 4 (b) shows the image pick-up image of said Xtal blank 1 by the dark field method. A dark field method is an approach by the patent No. 2821460 mentioned above, the profile has only come floating here white in this case, and the interior of a profile is carrying out gray uniformly, and cannot find out an image which visualizes the difference in thickness inside. Thus, since, as for a convex type thing, a blemish exists in homogeneity on a front face, an effective dark field method is not suitable for inspection of the processing workmanship of the curved surface of the Xtal blank to a blemish.

[0037] Light from the light source is made polarization with a polarizer, and is given to the convex type Xtal blank, and if the light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to polarization from the light which passed the Xtal blank is taken out from an analyzer, a loop-formation-like interference fringe (contour-line pattern) will appear around a blank by polarization interference. Although several [many] will arise if the dimension of an interference fringe of a blank is greatly thick, it will decrease, if the dimension of a blank becomes thin small, and one dark interference fringe only arises slightly on a periphery in 4mm of long sides, 2mm of shorter sides, and a small rectangle blank with a thickness of about 100-200 micrometers. In addition, it has moved from the main force of the Xtal blank to the small thing by the miniaturization of a mounting device.

[0038] By the way, the gestalt of operation is premised on the configuration of an interference fringe and the thickness of the Xtal blank having correlation. it is possible to inspect the polish condition of the convex type Xtal blank according to plane view by being able to visualize the phase contrast by the difference in thickness, and inspecting the configuration of an interference fringe by the interference fringe, by this, -- becoming -- a polish condition -- getting to know -- an improvement of a cylindrical barrel processing system sake -- it can feed back .

[0039] Then, in order to verify the above-mentioned premise, the relation between an interference fringe and thickness is considered below. This consideration was first asked for the theoretical value, and how to support that theoretical value by experiment next is taken to it. However, originally, although the sample used in this experiment just used the small Xtal blank in alignment with the actual condition, it is not the small Xtal blank in fact, and was taken as the Xtal blank large-sized convex type. This is from the reason the more large-sized one tends to survey the configuration (thickness) by the pen recorder as compared with the ** small thing out of which two or more interference fringes with the clearer ** large mold come. Drawing 5 and drawing 6 are the large-sized samples (400 micrometers - 450 micrometers in 8.25mm - 7.0mm of long sides, 1.5mm - 2.0mm of shorter sides, thickness) mentioned above, and show the image which 2 and three **** have produced, respectively. Drawing 7 shows the image which one **** has produced with the small sample (100 micrometers - 200 micrometers in 5.0mm - 4.0mm of long sides, 1.5mm - 2.5mm of shorter sides, thickness) mentioned above, respectively.

[1] A theoretical value, now Xtal are the devices of form birefringence, and the plane of polarization is divided into the ordinary ray and extraordinary ray which lie at right angles mutually, and spreads the light which carried out incidence to this.

[0040] The Xtal blank has a function as a phase plate, and gives predetermined phase contrast according to the difference of the phase velocity of an ordinary ray and an extraordinary ray. As for $1/2$ wavelength plate, a quarter-wave length plate has the operation to which it rotates [the circular polarization of light or the circular polarization of light] (2θ) for the linearly polarized

light to the angle theta of the incidence plane of polarization and optical axis of a wavelength plate to make to the linearly polarized light in the linearly polarized light.

[0041] It is [wavelength / of the light source] ne about the refractive index of n_0 and an extraordinary ray in the refractive index of λ and an ordinary ray. If it carries out, they are thickness t of the Xtal blank, and the relation with phase contrast P . $P=(n_e-n_0) t$ and $2\pi/\lambda$ (1) It becomes.

[0042] formula (1) from — if the difference of the refractive index of phase contrast, an ordinary ray, and an extraordinary ray and the wavelength of the light source are known, it turns out that it can ask for the thickness of the Xtal blank. The following data asked for the refractive index of a Y-axis cut of Xtal from specific wavelength.

[0043]

λ (angstrom) Refractive index n_0 of an ordinary ray Refractive index n_e of an extraordinary ray
5080 1.54822 1.55746 5893 1.54424 1.55335 7680 1.53903 The red LED of 660nm is used for the light source at inspection of the Xtal blank of 1.54794 operation gestalten. It will be set to $n_e-n_0=0.009$ if take wavelength along an axis of abscissa, a refractive index is taken along an axis of ordinate, and the above-mentioned data are plotted, as shown in drawing 8 , and it asks for the difference of the refractive index of the ordinary ray in $\lambda=660\text{nm}$, and an extraordinary ray. Since not a Y-axis cut but an AT cut with the good frequency temperature characteristic is used, the Xtal device needs to ask for the difference of the piece of AT cut (about 35 degrees) Xtal from the difference of the refractive index of the ordinary ray about the above-mentioned Y-axis, and an extraordinary ray.

[0044] It can ask for the refractive index of the ordinary ray of an AT cut quartz plate, and an extraordinary ray from drawing 9 which drew refractive-index distribution of an ordinary ray and an extraordinary ray on the Y-Z axial plane. Each point n_e at which the circle 51 on which refractive-index distribution of an ordinary ray is drawn focusing on the X-axis perpendicular to space, and the ellipse 52 on which refractive-index distribution of an extraordinary ray is drawn cross a Y-axis, and n_0 It is the extraordinary-ray refractive index of a Y-axis, and an ordinary index, respectively, and the die length between both points serves as difference (n_e-n_0) of the extraordinary-ray refractive index of a Y-axis and ordinary index which were mentioned above.

[0045] Moreover, an AT cut front face comes to the angular position which shifted from the Z-axis to about 35-degree counterclockwise rotation. In the polariscopy of the Xtal blank, light will pass in the direction which intersects perpendicularly with this field. each point n_e' at which the straight line 53 described as the direction of the light passing through a zero (X-axis) crosses said circle 51 and said ellipse 52, and n_0' — ' It is the extraordinary-ray refractive index of an AT cut quartz plate, and an ordinary index, respectively, and the die length between both points serves as difference $(n_e'-n_0')$ of the extraordinary-ray refractive index of an AT cut quartz plate (AT cut), and an ordinary index. First, it asks for the intersection of an ellipse and a straight line, and then asks for the intersection of a perfect circle and a straight line.

[0046] Formula of an ellipse $y^2/a^2+z^2/b^2=1$ It is (2). here — $a=n_e$ and $b=n_0$ it is .

[0047] formula of the straight line of light $z=cy$ (3) it is . It is $c=\tan 35''$ here.

[0048] Ellipse type (2) Straight-line type (3) If it asks for an intersection $y=**n_e$ and $n_0/(n_0^2+n_e^2 \tan^2 35'')$ (4) $z=**n_e, n_0$, and $\tan 35''/(n_0^2+n_e^2 \tan^2 35'')$ (5) is obtained.

[0049] It is an ellipse type (2) similarly. It sets and is $a=b=n_0$. If it asks for the intersection of the substituted perfect circle type and a straight-line type (3) $y=**n_0/(1+\tan^2 35'')$ (6) $z=**n_0 \tan 35'' / (1+\tan^2 35'')$ (7) It is obtained.

[0050] Formula (4) - (7) Difference of both the refractive indexes in the direction which intersects perpendicularly with an AT cut $(n_e'-n_0')=0.006$ (8) It is obtained.

[0051] formula (1) Difference equation (8) of both refractive indexes and — if phase contrast $P=2\pi$ between interference fringes and the light source wavelength of $\lambda=660\text{nm}$ are substituted $t=660\text{nm} / 0.006=110$ micrometers (9) It is obtained. Since a sample is both the convex type convex type (Bayh Combec SUTAIPU), if it calculates thickness of one of the two $t=110 / 2=55$ micrometers (10) It is obtained. Therefore, the variation of the phase contrast of 2π , i.e., the thickness between interference fringes, is 55 micrometers.

[2] As shown in experimental value drawing 10 , the brightness (brightness thru/or quantity of

light) of the striped pattern of the sample image 61 of a rectangle Xtal blank reflected in a display was measured. The measured striped pattern was taken as the umbra 62 (point that brightness fell most) of one inside, from the umbra 63 (point that brightness fell most) of the maximum outside, and the maximum outside. Distance L2 from the umbra 62 of the 1 or distance Lone inside from the center of a sample to the umbra 62 of one inside to the umbra 63 of the maximum outside It carries out and is the distance to an edge further L0 It carried out. L0 x2 become the long side of a sample. Moreover, adhesion immobilization of the same sample is carried out at the base, and it is L1. L2 Height (thickness) H of a between was measured with the pen recorder. In addition, the above-mentioned umbra was taken as the part where the luminance distribution which meets the center line of a longitudinal direction fell most. A measurement sample is the following three.

[0052] (1) Sample AL1 =2.85mmL2 =0.95mmL=8.25mmH=55micrometer(2) Sample BL1 =2.8mmL2 =1.05mmL=8.25mmH=55micrometer(3) Sample CL1 =3.15mmL2

=0.7mmL=8.00mmH=55micrometer[0053] (1) mentioned above - (3) As for the sample, each height H between umbrae showed the same 55 micrometers as a theoretical value. Since adhesives were used for sample immobilization at the base here, by dispersion in the coating thickness of adhesives, also when levelness of a sample was not able to be secured, it was, but since the relative height between umbrae was found, the levelness of a sample does not become an error. Moreover, in order to examine what error is included in 55 micrometers mentioned above, the surface roughness on the front face of a sample was measured. Since the one half of a peak TSUU peak was about 1 micrometer as shown in drawing 11, when seeing about 10%, it also turned out that the precision of thickness is satisfactory. Therefore, it was confirmed that a striped pattern has the thickness of a sample and correlation.

[0054] Although the long side applied to the large-sized sample of the base of 8mm, and the base of 400 micrometers in thickness, since the [inference] above-mentioned theoretical value and the experimental value did not prepare especially an exception, they should be able to apply this result also to the small sample. As the small sample of 4mm base of long sides, 1mm base of shorter sides, and the base of 100 micrometers - 200 micrometers in thickness is shown in drawing 7, a striped pattern (umbra) produces only one. Therefore, thickness measurement based on the above-mentioned result cannot be performed. However, since it turned out that the thickness of a sample and the brightness which appears in a sample image have correlation If it is the case where brightness change has arisen even if the clear striped pattern has not arisen when a striped pattern produces only one in the polariscopy or By setting up the optimal threshold and drawing a brightness line (equivalent to the contour line of mountains geographical feature), such as having connected the point that the brightness of an interference fringe was equal, the ***** top can show the same thickness. drawing 12 is such -- etc. -- it is a sample Fig. describing a brightness line. These samples are 10MHz in about 153 micrometers in thickness, and blank frequency.

[0055] (a) Sample (drawing 12 (a))

The shape of brightness linearity, such as long-side =04.324mm shorter-side =01.807mm.; A beautiful ellipse (b) sample (drawing 12 (b))

The shape of brightness linearity, such as long-side =04.328mm shorter-side =01.807mm.; The ellipse (c) sample distorted a little (drawing 12 (c))

The shape of brightness linearity, such as long-side =04.332mm shorter-side =01.806mm.; The ellipse distorted greatly [0056] (a) mentioned above When the strip-of-paper-like convex

vibrator of - (c) was assembled and the oscillation trial was carried out, frequency characteristics were good, and were stabilized, high Q value was obtained, and (a) and (b) of the temperature characteristic were good, and an excellent article. On the other hand, frequency characteristics of (c) were unstable, it was bad, and its temperature characteristic was bad poor. This result showed that thickness measurement ***** had the polariscopy effective in configuration measurement also to the small sample.

[0057] By the way, although the quality of convex processing was judged from the configuration of a brightness line, such as having seen the Xtal blank image from the top, with the gestalt of operation mentioned above, there is also a request that he wants to judge the quality of convex

processing from the thickness in the same cross section of the Xtal blank. Rather, since the correlation of frequency characteristics with a cross-section configuration is strong, its request here is large.

[0058] Then, the relation between the polariscopy and the cross-section configuration of the Xtal blank is considered below. As for the ***** top, the same thickness is shown when a brightness line, such as having set up the optimal threshold and having connected the point that brightness was equal, will be drawn, if it is the case where brightness change has arisen in the polariscopy as mentioned above. If this is advanced further, it continues crosswise [of the Xtal blank / the die-length direction or crosswise] and the brightness value is plotted, the brightness change will show the change of the thickness in the same cross section itself. This brightness change is shown as a brightness distribution map which met drawing 5 (b) - drawing 7 (b) at the center line. this luminance distribution -- the sin function (or cos function) of the principle of MARYU to the phase contrast P -- it can express -- phase contrast P -- formula (1) from -- since it turns out that it is proportional to thickness t , a striped pattern can express two or more luminance distribution of a certain drawing 5 (b) - drawing 6 (b) with a sin function. The luminance distribution of drawing 7 (b) which is the small and thin example of a sample which a striped pattern produces only one similarly or the clear striped pattern has not produced can also be expressed with a sin function.

[0059] The thickness in the same cross section of the Xtal blank can be inspected from this luminance distribution. This is explained. The relation between the cross section of the Xtal blank and the phase of a luminance distribution wave is shown in drawing 1313 and drawing 14 . Here, since it is simplified, the magnitude of attenuation of transparency has ignored. Drawing 13 shows the case of beveling processing ground at the fixed include angle, and a wave-like phase becomes at equal intervals. When thickness is fixed, brightness is changeless and becomes a flat. On the other hand, drawing 14 shows the case where it is convex processing to which the amount of polishes becomes small as it approaches a core, and it is changing so that the phase of a brightness wave may become little by little large, as it approaches a core. The relation between this phase and brightness is a formula (1). It is as having mentioned above that there is correlation.

[0060] Since the thickness between the crests (sunspot) of a distribution wave will be set to 55 micrometers if the luminance distribution of a term is observable two or more rounds as the continuous line of drawing 14 shows, this is plotted so that 55 micrometers may become thick at a time toward a core, and if how to extrapolate a plotting point is used, the cross section configuration of the Xtal blank can be drawn easily. If between the troughs (flake) of a distribution wave is plotted at this time, since between sunspots can be complemented, the precision of extrapolation goes up and a right cross-section configuration is acquired more.

[0061] Thus, if a luminance distribution wave can observe a term two or more rounds, the cross-section configuration can be drawn easily, but when a luminance distribution wave cannot observe one period, either, as a dotted line shows since the Xtal blank is thin, the above-mentioned technique cannot be used. Then, the new technique by which a cross-section configuration is acquired even from the luminance distribution wave shown by the dotted line was developed. Hereafter, it explains.

[0062] The qualitative amount distribution map of polishes of three kinds from which convex processing workmanship differs in drawing 15 of small and thin Xtal blanks (100 micrometers - 200 micrometers in 5.0mm - 4.0mm of long sides, 1.5mm - 2.5mm of shorter sides, thickness) is shown. The die length of the Xtal blank is taken along an axis of abscissa, and the amount of polishes is taken along the axis of ordinate. The upper half of a left-hand side [core / of the Xtal blank of both the convex type convex type with which the center section became thick] part is shown. In this drawing, a correlation sample and US delete SS, and an insufficient sample and OS are deleted too much and are a sample. It is poor, if it shifts to the insufficient sample US side greatly, or the amount of polishes shifts from correlation sample SS, it deletes, deletes too much and it shifts to Sample OS side greatly. An excellent article serves as tolerance of the near including correlation sample SS.

[0063] The brightness distribution map corresponding to the amount distribution of polishes of

three kinds of such Xtal blanks obtained by the polariscopy is shown in drawing 16 . Since the Xtal blank has a small correlation sample and it is thin, as for luminance distribution, the amount of one wave is not, either. If it adjusts so that the maximum peak of brightness may come to a core at the time of observation, correlation sample SS will be cut before going up after falling with the sin function toward the left end from the core and passing through the minimum peak, and resulting in the maximum peak again. It is because the Xtal blank does not exist. At this cutting point, since other samples are emphasized that it mentioned it above rather than the difference in a phase although the value became large by continuation or discontinuity with the sin function similarly by the lens effectiveness is thought. The shaving insufficient sample US has a long period compared with correlation sample SS, and brightness falls from the core slowly toward the left end. It deletes too much, and, as for Sample OS, a period progresses compared with correlation sample SS on the contrary, and the maximum peak in a core becomes small.

[0064] Thus, if the shaving insufficient sample US or a gap of the detection luminance distribution of an inspected Xtal blank [as opposed to / since it deletes too much and a luminance distribution difference with Sample OS appears clearly / the luminance distribution of correlation sample SS] is got to know, the quality of the cross-section configuration of convex processing can be judged to be correlation sample SS.

[0065] The procedure of next inspecting the detection luminance distribution gap to the luminance distribution of correlation sample SS is explained.

[0066] The actuation which is common in the processing finish-turn inspection from the configuration of a brightness line, such as having mentioned above here, is as follows. In drawing 1 , it gives the Xtal blank 1 which makes light from the light source 26 polarization with a polarizer, and consists of a birefringence medium which carried out convex processing, and the light of a polarization condition which makes a predetermined include angle to polarization from the light which passed the Xtal blank 1 is passed. In order to be able to visualize the phase contrast by the difference in thickness by the contrast of light and darkness by polarization interference, to take the passed contrast image of the Xtal blank 1 of the light of a polarization condition as a video image, to transmit to an image processing system 14, to carry out contrast enhancement processing of this, and to obtain the data for processing finish-turn inspection further, statistics processing of the binary-ized data is carried out [as this shows drawing 3 ,].

[0067] In addition, it faces [inspecting processing workmanship and] and angle of rotation of the quantity of light of the light source 26, a polarizer 21, an analyzer 22, and the installation base 2 is adjusted mutually beforehand, and these quantity of lights and an include angle are adjusted so that the interference fringe which appears on an image may become the the best for processing finish-turn inspection.

[0068] In drawing 17 , in order to perform the calibration of test equipment first, the correlation sample of the Xtal blank is laid in the installation base 2 (step 201). A correlation sample is what was measured by the micrometer, and uses a thing with the thickness which oscillates a desired frequency here. An analyzer 22 or a polarizer 21 is rotated centering on an optical axis, and the brightness peak value of the core at that time is acquired so that the core in the same cross section of a correlation sample may become the maximum brightness (step 202 – step 204). If it acquires, 1/2 wavelength plate 24 will be inserted at the include angle of 22.5 degrees to an optical axis, 45 degrees of phase contrast of light will be shifted, and the brightness value of the core at that time is acquired (step 206). After [acquisition] 1 / 2 wavelength plate 24 is sampled (step 207).

[0069] In the brightness distribution map of the correlation sample of drawing 16 , the brightness peak value of a core is equivalent to an A point. Moreover, although the brightness of a core falls by having shifted 45 degrees, the point is equivalent to the B point when 45 degrees of phases shifted exactly, if it says in the luminance distribution Fig. of a correlation sample. Even if it was the case where luminance distribution does not have sin by one wave, it could be 45 degrees for enabling it to inspect. The sin wave which passes along two points, the maximum of the brightness of a core and the value of 45 degrees of said phase contrast, is searched for (step 208), and this is displayed on a display (step 209). This is exactly asking for the sin function of the correlation sample of drawing 16 . It is considered that this sin wave is a criteria luminance

distribution wave in the same cross section of the correlation sample which visualizes phase contrast and is obtained. Thus, not the raw data obtained from actual luminance distribution but the criteria luminance distribution wave which dares serve as an ideal is searched for in a formula, because it is exact, correction can be done easily and versatility can moreover be given [rather than] to a reference value using the correlation sample variation is expected to be. In addition, it is good also considering a criteria luminance distribution wave as raw data.

[0070] Next, in order to inspect an inspected Xtal blank, an inspected Xtal blank is laid in the installation base 2 (step 210). Inspected Xtal blank luminance distribution is searched for along with a center line, and the inspected Xtal blank luminance distribution wave acquired as a result is displayed (step 211). The detection luminance distribution wave and criteria luminance distribution wave which were displayed are compared, the thickness in the same cross section of the Xtal blank is inspected relatively, and a quality is judged (step 212). When the gap of a detection luminance distribution wave to a criteria luminance distribution wave exceeds an allowed value as these contents of inspection, it considers as a defect, and if it is in an allowed value, it will consider as an excellent article. Or if convex processing data are collected, it is also possible to acquire a normal-distribution property in quest of the above-mentioned amount of gaps. Thereby, the configuration of the thickness in the same relative cross section of an inspected Xtal blank can be known. In addition, since the luminance distribution wave itself is compared, the whole luminance distribution wave configuration, the brightness of an axis of ordinate, and the phase of an axis of abscissa can be known.

[0071] The Xtal blank image is regarded as having mentioned above not from a top but from a cross section, and since it can judge which is deleted, the quality of convex processing can be inspected correctly. Moreover, since it asks for the sin function which serves as criteria luminance distribution from the brightness value with 45-degree phase contrast of two points, even if one wave is the small and thin Xtal blank in which the luminance distribution of the half-wave length does not appear, of course, either, the inspection of a suitable cross-section configuration of it is attained. Especially if this is in the quartz resonator with which miniaturization thin form-ization is progressing further, it is meaningful.

[0072] Moreover, the total inspection of the convex processing workmanship condition can be carried out using an image processing, and it can grasp on real time in an instant, and since data also carry out statistics processing in large quantities and are obtained, quality control of the Xtal blank is attained. By employing the convex type processing workmanship data at the time of polarization observation efficiently especially, if it standardizes and convex processing spreads, it is reliable GO/NO GO. Sorting becomes possible. Moreover, since a statistical method can be used and the optimal threshold can be determined even if variation arises in blemish detection, convex processing, beveling processing, or the acid treatment performed after that, by being able to take an allowed value flexibly and setting such an allowed value as a time limits/maintenance check, an excellent article is not used as a defective or a defective is not used as an excellent article.

[0073] In addition, a color is sufficient although the image was made into monochrome with the gestalt of operation. Moreover, although the homogeneous light of specific wavelength was used for the light source for polarization observation, it is also possible to use the source of the white light theoretically. Moreover, although the red LED of 660nm was used for the light source for polarization observation, it is not limited to this. Since more interference fringes appear, it is desirable to use the light of wavelength shorter than this, when improving the accuracy of measurement.

[0074] Moreover, although premised on an interference fringe arising with the gestalt of operation, since there is correlation with brightness (quantity of light, brightness) and thickness, the processing workmanship of the cross-section configuration of the convex type Xtal blank can be inspected by displaying luminance distribution and comparing with normal distribution that luminance distribution should just arise.

[0075] If the wavelength of the light source is short like laser, or if it carries out multiplying of the wavelength and short wavelength is obtained, since many interference fringes can be produced, a cross-section configuration can be inspected easily. However, since a laser light

source and a multiplier are expensive, for inspecting the cheap Xtal blank, it is not practical. Since the thing of this invention only produces light and darkness using cheap LED at the point and a cross-section configuration can be measured, it is very practical.

[0076]

[Effect of the Invention] According to this invention approach, it becomes possible to conduct convex type cross-section configuration inspection by the polariscopy, and can consider as the management index of convex processing of the inspection data obtained by the polariscopy.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline block diagram of the test equipment for enforcing the convex inspection approach of the transparence substrate by the operation gestalt.

[Drawing 2] It is the explanatory view of the optimal case for the inspection approach of an operation gestalt, and (a) is the sectional view of the convex type Xtal blank, and (b) is BERINGU process drawing.

[Drawing 3] It is an explanatory view by polarization observation, and is the sectional view where (a) explains a binary-ized image and (b) explains the thickness of the Xtal blank.

[Drawing 4] The image before binary-izing of the convex type Xtal blank is shown, and the image of the Xtal blank with which (a) was observed by the polariscopy of an operation gestalt, and (b) are the images of this blank observed by the dark field observational method.

[Drawing 5] It is the explanatory view showing the striped pattern of a large-sized sample, and the image of brightness, and is the luminance distribution Fig. where (a) met the top view and (b) met the center line.

[Drawing 6] It is the explanatory view showing the striped pattern of a large-sized sample, and the image of brightness, and is the luminance distribution Fig. where (a) met the top view and (b) met the center line.

[Drawing 7] It is the explanatory view showing the striped pattern of a small sample, and the image of brightness, and is the luminance distribution Fig. where (a) met the top view and (b) met the center line.

[Drawing 8] It is the plot which asked for the refractive index of the Y-axis of the Xtal blank from specific wavelength.

[Drawing 9] It is the refractive-index distribution map of an ordinary ray and an extraordinary ray in the Y-Z axial plane of an AT cut quartz plate.

[Drawing 10] It is the explanatory view showing the generating location of the striped pattern of the sample image of a rectangle Xtal blank reflected in a display, and (a) is a top view and (b) is an important section expanded sectional view.

[Drawing 11] It is the explanatory view showing the surface roughness on the front face of a sample.

[Drawing 12] It is the top view showing the image of three small samples describing ****.*.

[Drawing 13] When beveling processing of the Xtal blank is carried out, it is the property Fig. showing a phase and a luminance distribution wave.

[Drawing 14] It is the property Fig. showing the phase when carrying out convex processing of the Xtal blank, and a luminance distribution wave.

[Drawing 15] It is the polish property Fig. of the sample by the operation gestalt.

[Drawing 16] It is a brightness distribution map corresponding to the sample of drawing 13 .

[Drawing 17] It is the checking flow chart of the inspected Xtal blank cross-section configuration by the operation gestalt.

[Drawing 18] It is the explanatory view of the cylindrical barrel processing system which performs convex (beveling) processing.

[Drawing 19] It is the property Fig. which plotted the height data obtained by the conventional

level measuring method in the die-length direction of the Xtal blank.

[Description of Notations]

1 Xtal Blank (Transparence Substrate)

2 Installation Base

12 Objective Lens

13 CCD Camera

14 Image Processing System 21 Polarizer

22 Analyzer

23 Diffusion Plate

24 1/2 Wavelength Plate

26 Light Source

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

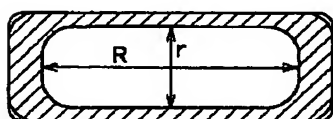
2.*** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

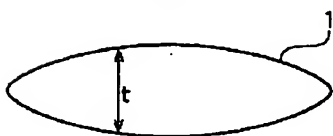
DRAWINGS

[Drawing 3]

(a) 2酸化後



(b)

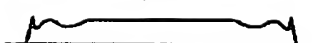


[Drawing 5]

(a)



(b)



[Drawing 6]

(a)

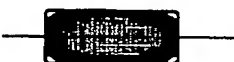


(b)



[Drawing 7]

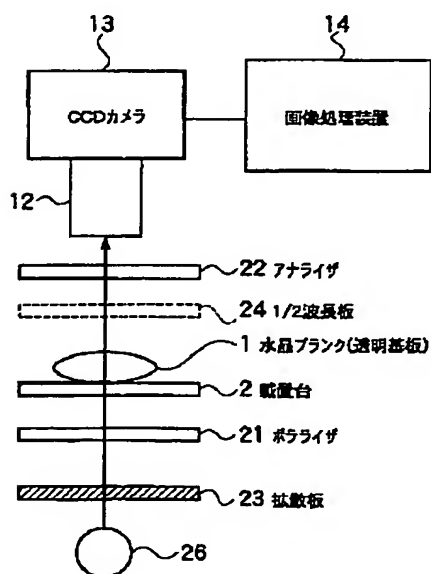
(a)



(b)



[Drawing 1]

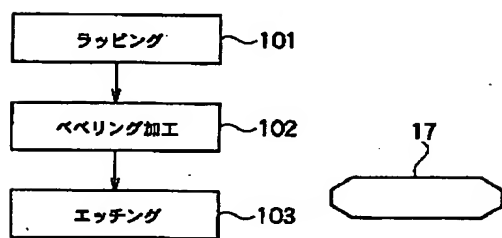


[Drawing 2]

(a) コンパクトタイプ

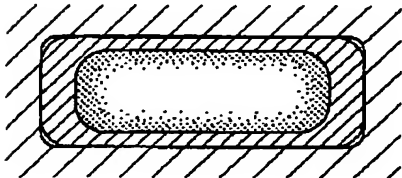


(b) 平板タイプのベベリング処理

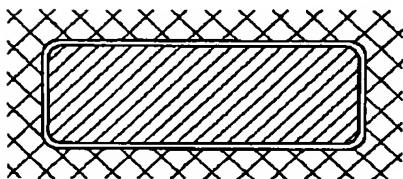


[Drawing 4]

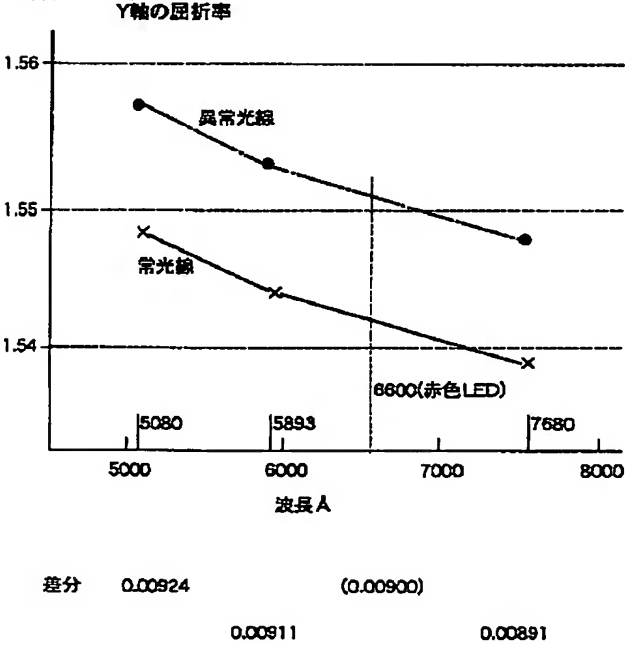
(a) 2値化前



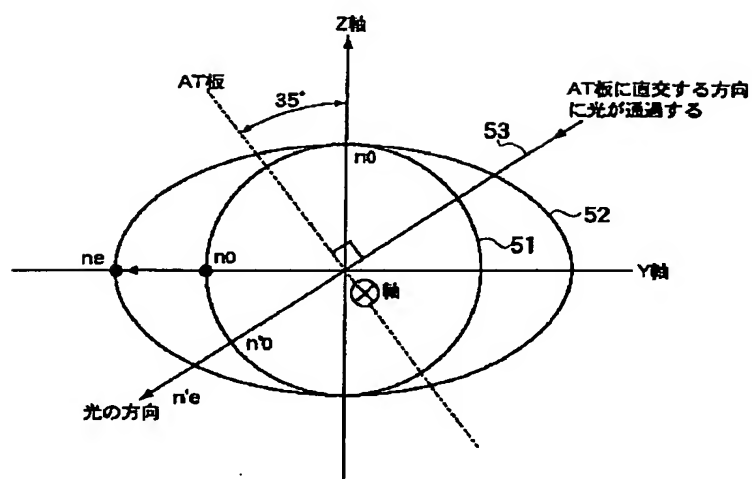
(b)



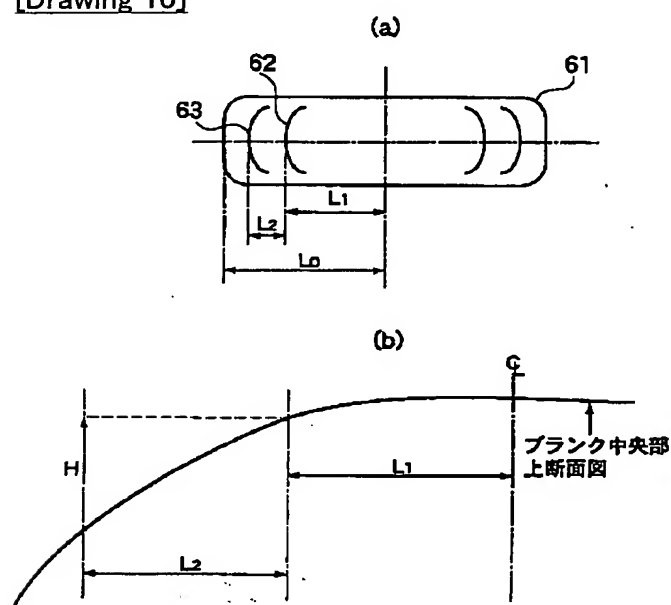
[Drawing 8]



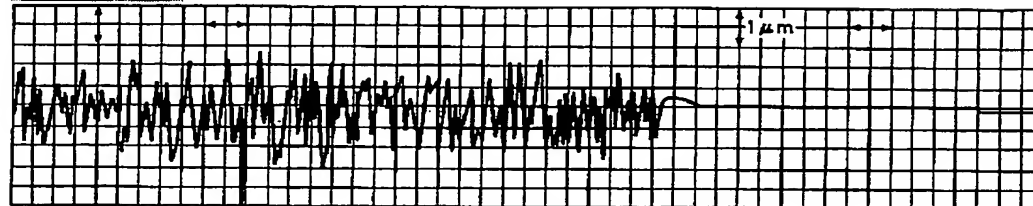
[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Drawing 11]

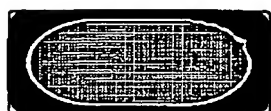


[Drawing 12]

(a)



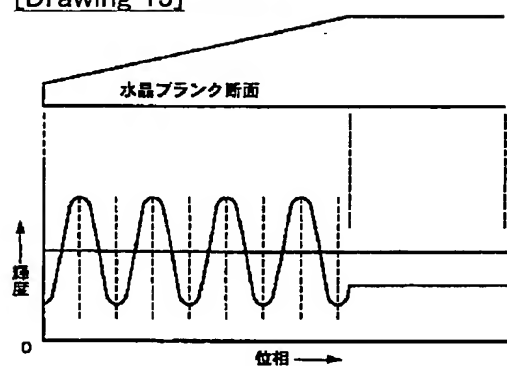
(b)



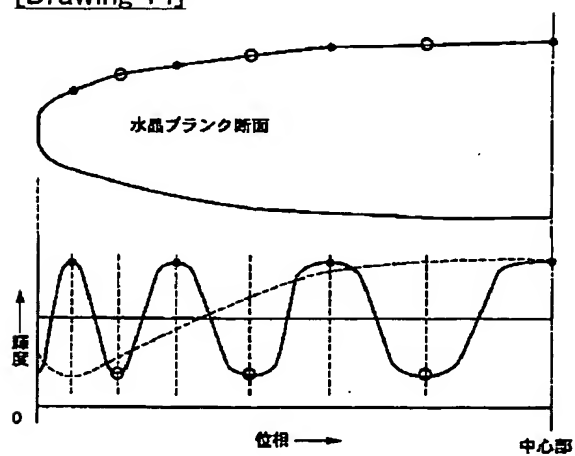
(c)



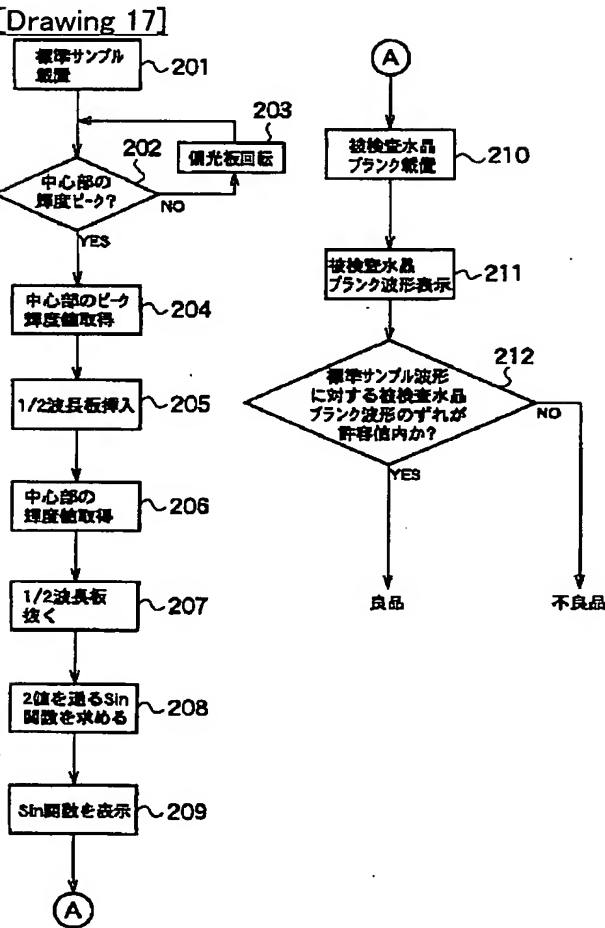
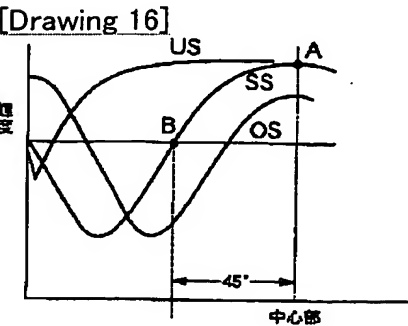
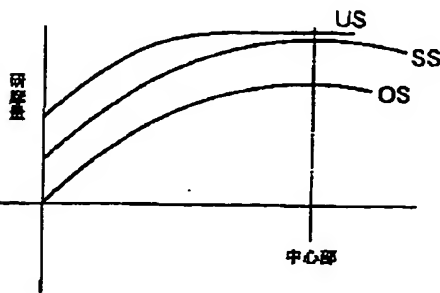
[Drawing 13]



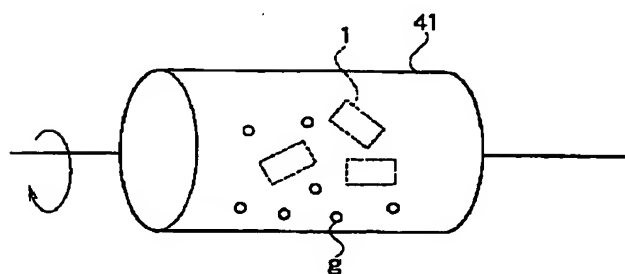
[Drawing 14]



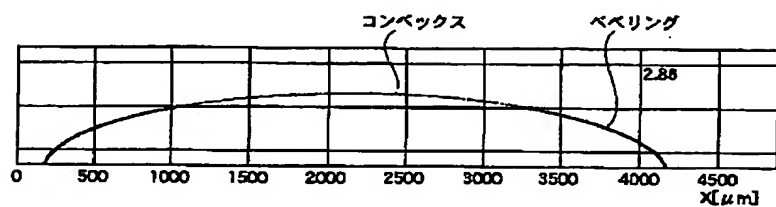
[Drawing 15]



[Drawing 18]



[Drawing 19]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-221008

(P2000-221008A)

(43) 公開日 平成12年 8 月11日 (2000. 8. 11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 1 B 11/02		G 0 1 B 11/02	G 2 F 0 6 5
G 0 1 N 21/23		G 0 1 N 21/23	2 G 0 5 9
G 0 2 B 21/00		G 0 2 B 21/00	2 H 0 5 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平11-25156

(22) 出願日 平成11年 2 月 2 日 (1999. 2. 2)

(71) 出願人 597121186

株式会社日本マクシス

東京都新宿区高田馬場 1-10-15

(72) 発明者 小林 了

東京都新宿区西早稲田 2 丁目20番15号 株

式会社日本マクシス内

(74) 代理人 100090136

弁理士 油井 透 (外 2 名)

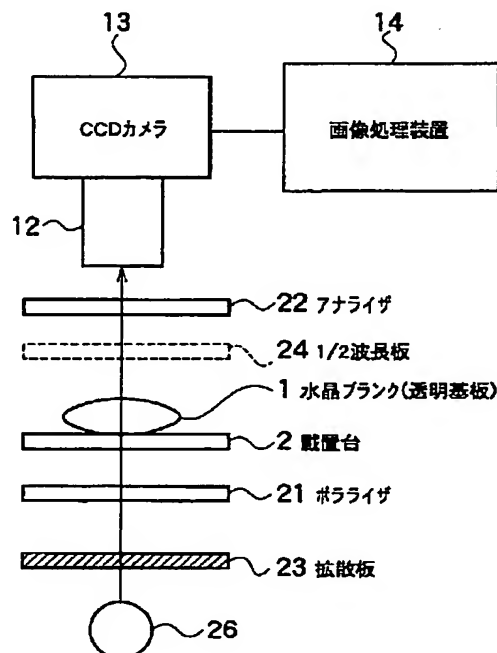
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 透明基板の検査方法および透明基板の検査装置

(57) 【要約】

【課題】 偏光観察法を用いてコンベックス加工による断面の適正化を迅速かつ全数検査できるようにする。

【解決手段】 まず、透明基板の標準サンプルを用いて、標準サンプルの同一断面での中心部が最大の輝度となるように、アナライザ22またはポラライザ21を回転して、そのときの輝度を求める。光路に1/2波長板を22.5°の角度で挿入して光の位相差を45°ずらし、そのときの前記中心部の輝度を求める。中心部の輝度の最大値と位相差45°の輝度値の2点を通るsin波形を求める。このsin波形を、位相差を可視化して得られる標準サンプルの同一断面における基準輝度分布波形とみなす。次に検査しようとする水晶ブランク1を用いて、標準サンプルの同一断面での輝度を求め、それから輝度分布波形を検出する。この検出輝度分布波形と基準輝度分布波形とを比較して、透明基板の同一断面での厚さを相対的に検査する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】コンベックス加工した複屈折媒質からなる透明基板に光源からの光をポラライザにより偏光にして与え、前記透明基板を通過した光からアナライザにより前記偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光を通過させて、偏光干渉により前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して、前記透明基板の加工仕上りの検査を行うようにした透明基板の検査方法において、前記位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布と予め求めた基準輝度分布とを比較して、前記透明基板の同一断面での厚さを検査するようにした透明基板の検査方法。

【請求項 2】前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布が次式と相関のある \sin 関数で示される請求項 1 に記載の透明基板の検査方法。

$$P = (n_o - n_e) t \cdot 2\pi / \lambda$$

ただし λ : 光源の波長

n_o : 常光線の屈折率

n_e : 異常光線の屈折率

t : 透明基板の厚さ

P : 干渉縞間の位相差

【請求項 3】請求項 2 に記載の透明基板の検査方法において、

(1) まず、透明基板の標準サンプルの厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記標準サンプルの同一断面での輝度分布の中心部が最大となるように、前記アナライザまたは前記ポラライザを回転して、そのときの輝度の最大値を求め、

(2) 光軸に対して $1/2$ 波長板を 22.5° の角度で挿入して光の位相差を 45° ずらし、そのときの前記中心部の輝度値を求め、

(3) 前記中心部の輝度の最大値と前記位相差 45° の輝度値の 2 点を通る \sin 波形を求め、この \sin 波形を、位相差を可視化して得られる前記標準サンプルの同一断面における基準輝度分布波形とみなし、

(4) つぎに、検査しようとする透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布から輝度分布波形を検出し、

(5) 検出輝度分布波形と基準輝度分布波形とを比較して、前記透明基板の同一断面での厚さを検査するようにした透明基板の検査方法。

【請求項 4】請求項 3 に記載の透明基板の検査方法において、前記 (2) の $1/2$ 波長板を挿入する代りに、前記アナライザまたはポラライザを 45° 回転するようにした透明基板の検査方法。

【請求項 5】コンベックス加工した複屈折媒質からなる透明基板に向けて偏光していない光を照射する偏光観察用光源と、

前記偏光観察用光源からの照射光を偏光にして透明基板

に照射するポラライザと、

前記透明基板を透過した所定の角度をなす偏光状態の光を検出するアナライザと、

前記アナライザを通過した偏光観察光の透明基板を撮像して、偏光干渉により前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化する撮像手段と、

前記撮像手段で可視化した像を画像処理して、同一断面での輝度分布を検出する画像処理手段と検出透明基板輝度分布と標準サンプルから求めた基準輝度分布とを比較し、透明基板の同一断面での厚さを検査する比較手段とを備えた透明基板の検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は透明基板の検査方法および装置に係り、特にコンベックスタイプの透明基板の厚さを偏光観察法によりリアルタイムで検査可能にしたものに関する。

【0002】

【従来の技術】水晶振動子の特性を改善する手法として平板状タイプの水晶ブランクの周辺部をベベリング（面取り）加工することが行われている。さらに進めて平板状タイプの水晶ブランクをコンベックス加工してレンズ形状とすることも行われている。ベベリング加工やコンベックス加工を行うには、大量加工が可能な円筒状バレル方式が共通に採用される。これは図 18 に示すように円筒状バレル 41 内に多数の水晶ブランク 1 とともに研磨材 g を入れて円筒状バレル 41 を回転させながら研磨するというものである。比較的短時間で研磨するとベベリング加工となり、長時間かけて研磨するとコンベックス加工となる傾向があるが、色々な条件が働くため断定できない。水晶振動子の特性を再現性よく良好なものとするためには、上記方式によるベベリングやコンベックス寸法精度を高めて、左右、上下対称となるようにする必要がある。

【0003】前記円筒状バレル方式は、投入する水晶基板枚数、研磨材種、回転数、温度などでベベリング加工やコンベックス加工状態が異なり、これらの条件を同じにしても、常に同じベベリング状態ないしコンベックス形状が得られるとは限らない。水晶基板メーカーは独自のノウハウに頼っているところが大きい、そのノウハウも不確実な要素があり、うまくいったりいかなかったりして、いつも同じベベリングやコンベックス寸法精度を保つことができず、偶然の要素も混じっているのが現状である。ベベリングないしコンベックス寸法精度を高めるためには、水晶ブランク面のベベリング状態やコンベックス形状を評価して、その結果をベベリング加工やコンベックス加工にフィードバックすることが可能な検査法の確立が必要となる。

【0004】ベベリング加工は非常に微小な傷を付けて、表面の一部を削り取ることによって成立しているた

め、通常の明視野観察では非ベベリング部分との有意差が出ず、水晶ブランク面のベベリング状態は作業者の目視検査や画像処理技術では検査できない。またコンベックス加工においても、同様に表面の一部を削り取ることによって成立しているが、通常の明視野観察では表面の研磨具合を把握できず、水晶ブランク面のコンベックス加工仕上りは作業者の目視検査や従来の画像処理技術では検査できない。

【0005】このため従来のベベリング検査ないしコンベックス加工仕上り検査は、(1)ベンレコーダ法、(2)レベル測定法、(3)投影法という物理的な方法に頼らざるを得なかった。

【0006】(1)ベンレコーダ法

探触子で水晶ブランク面をスキャンし、その軌跡をベンレコーダを使って記録する方法であり、探触子のスキャン方向に沿った表面高さを測定できる。コンベックスタイプの場合には、安定性が悪いので、接着剤で載置台上に固定することが行われている。

【0007】(2)レベル測定法

レーザ高さ測定機を使う方法であり、水晶ブランクの裏面に反射用の銀膜を蒸着し、レーザ光線を水晶ブランクの表面に照射しながら径方向(直線方向)に掃引(スキャン)して、その反射光から直線上のレベルを測定する方法である。これによれば図19に示すように、水晶ブランクの前記直線方向に沿った表面高さが連続して測定でき、表面高さからベベリングないしコンベックス加工の状態を知ることができる。図中、実線はベベリング、一点鎖線はコンベックスを示す。なお、コンベックスタイプの場合には、安定性が悪いので、接着剤で載置台上に固定することが行われている。

【0008】(3)投影法

水晶ブランクの表面にカーボン粉末(黒色)を塗布し、その上半透明のフィルムや薄紙を押し付けてフィルムや薄紙にカーボン粉末を転写させる方法である。転写したフィルムをスクリーン上に拡大して投影する。ベベリングされていない部分にカーボンが付着するので、カーボン粉末の転写状況からベベリング状態が目視でわかる。この方法はコンベックスタイプには適用できない。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上述した従来法には、次のような問題があった。

【0010】(1)ベンレコーダ法

研磨面の高さ測定の精度が悪く、水晶ブランクをスキャンした直線上でのデータしか得られないため、水晶ブランクの全面についてベベリングもしくはコンベックス検査することができない。また抜き取り検査となり検査に時間がかかる上、検査したサンプルは使用できなくなる。さらにコンベックスタイプの場合には、さらに接着剤で固定するという面倒な作業が必要となる。

【0011】(2)レベル測定法

研磨面の高さは精度よく測定できるが、水晶ブランクをスキャンした直線上でのデータしか得られないため、水晶ブランクの全面についてベベリングもしくはコンベックス検査することができない。水平方向のスキャンを垂直方向にずらしていけば面データが得られないことはないが、垂直方向のピッチ幅に対応した抜けデータが生じるのは避けられない。したがって水晶ブランク全面の検査が困難となる。また、裏面に銀蒸着を施す必要があるため、抜き取り検査となり検査に時間がかかる上、検査したサンプルは使用できなくなる。なお、コンベックスタイプの場合には、さらに接着剤で固定するという面倒な作業が必要となる。

【0012】(3)投影法

水晶ブランク全面にわたって検査できるものの、抜き取って転写、投影する必要があるため、抜き取り検査になり、非常に検査に時間がかかる。また目視観察であるため検査用のデータが取れない。また、コンベックス加工の検査はできない。

【0013】このように(1)、(2)および(3)の方法は、いずれもリアルタイムで検査できず時間もかかる。また統一された検査法が確立できないためベベリング検査ないしコンベックス加工仕上りの標準化もできない。また適切なデータが取れないためベベリング加工技術ないしコンベックス加工技術に有効にフィードバックできない。

【0014】また、ベベリング加工ないしコンベックス加工は大量に扱うバッチ方式ゆえに水晶ブランクごとにベベリングやコンベックス加工状態が異なり、さらにその後に行われる酸処理によるエッチングでもバラツキが生じる。それにも関わらず検査基準が定まっていなかったため、許容範囲を決定するのが困難となり、良品を不良品として扱ったり、不良品を良品にするという問題があった。

【0015】ところで、水晶基板にはベベリング検査の他に傷検査や輪郭(寸法)検査も要求されている。最近、これらの検査には暗視野観察法が有効であるとの提案がなされている(特許第2821460号)。そこで、この方法をベベリング検査に適用したところ、ベベリング加工後でもエッチング前であれば、ベベリング加工時に付いた微小な傷が表面に残っているので、有効であることが分かった。しかし、エッチング後は表面が平滑化されて微小な傷が表面から消えてしまうため、暗視野観察法は適用できないことがわかった。また、中央と周辺部で厚さの異なるコンベックスタイプの水晶基板にも適用できないことがわかった。コンベックスタイプの水晶基板は、ベベリング加工に比べて表面が均一に仕上がっていて、暗視野観察法では検出が困難だからである。

【0016】本発明の課題は、従来技術の問題点を解消して、画像処理で透明基板の断面形状を客観的に検査す

ることが可能な透明基板の検査方法およびその装置を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨とするところは、偏光観察法を導入することによって同一断面で異なる厚さをもつコンベックスタイプの透明基板の仕上り具合を画像化できること、また偏光観察法によって暗視野観察法では検査できなかったコンベックスタイプの透明基板の断面形状を画像処理で検査できるようにしたものである。

【0018】第1の発明は、コンベックス加工した複屈折媒質からなる透明基板に光源からの光をポラライズにより偏光にして与え、前記透明基板を通過した光からアナライズにより前記偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光を通過させて、偏光干渉により前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して、前記透明基板の加工仕上りの検査を行うようにした透明基板の検査方法において、前記位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布と予め求めた基準輝度分布とを比較して、前記透明基板の同一断面での厚さを検査する

ようにした透明基板の検査方法である。コンベックス加工としては一般的には研削ないし研磨、エッチングがある。前記透明基板には水晶振動子やフィルタ用の水晶ブランクなどが含まれる。また透明基板の同一断面での厚さには、中心部での厚さや断面形状が含まれる。

【0019】透明基板にコンベックス加工を施して同一断面で異なる厚さをもたせる場合、断面から見た厚さを検査する必要がある。前記加工を施した透明基板に光源からの光を偏光にして与え、透明基板を通過した光から偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光を通過させ、この光の透明基板を撮像すると、厚さの相違により位相差が生じて、明と暗とからなる干涉縞が透明基板の画像上に浮かび上がる。この画像から、さらに前記明暗を同一断面でプロットしていくと輝度分布が得られる。この輝度分布は透明基板の同一断面での厚さと相関がある。したがって、検出された透明基板の輝度分布波形と予め求めておいた基準輝度分布波形とを比較すれば、基準輝度分布波形に対する検出輝度分布波形のずれ量がわかるから、透明基板の相対的厚さを検査できるようになる。

【0020】また、前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布が次式と相関のあることが好ましい。

$$【0021】 P = (n_o - n_e) \cdot t \cdot 2\pi / \lambda$$

ただし λ : 光源の波長

n_o : 常光線の屈折率

n_e : 異常光線の屈折率

t : 透明基板の厚さ

P : 干涉縞間の位相差

【0022】また前記検査は、次の手順で行われることが好ましい。

【0023】(1) まず、透明基板の標準サンプルの厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記標準サンプルの同一断面での輝度分布の中心部が最大となるように、前記アナライズまたは前記ポラライズを回転して、そのときの輝度の最大値を求め、(2) 光軸に対して $1/2$ 波長板を 22.5° の角度で挿入して光の位相差を 45° ずらし、そのときの前記中心部の輝度値を求め、(3) 前記中心部の輝度の最大値と前記位相差 45° の輝度値の2点を通る \sin 波形を求め、この \sin 波形を、位相差を可視化して得られる前記標準サンプルの同一断面における基準輝度分布波形とみなし、

(4) つぎに、検査しようとする透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化して得られる前記透明基板の同一断面での輝度分布から輝度分布波形を検出し、(5) 検出輝度分布波形と基準輝度分布波形とを比較して、前記透明基板の同一断面での厚さを検査する。

【0024】 \sin 波形に代えて \cos 波形でもよい。

【0025】コンベックスタイプの透明基板の加工仕上りを検査する場合には、傷を検査するときに有用な暗視野観察法は適用できないので、前記した第1の発明は特に有用である。透明基板は水晶振動子用の水晶ブランクであるときに特に好ましい。

【0026】第2の発明は、コンベックス加工した複屈折媒質からなる透明基板に向けて偏光していない光を照射する偏光観察用光源と、前記偏光観察用光源からの照射光を偏光にして透明基板に照射するポラライズと、前記透明基板を透過した所定の角度をなす偏光状態の光を検出するアナライズと、前記アナライズを通過した偏光観察光の透明基板を撮像して、偏光干渉により前記透明基板の厚さの違いによる位相差を可視化する撮像手段と、前記撮像手段で可視化した像を画像処理して、同一断面での輝度分布を検出する画像処理手段と、検出透明基板輝度分布と標準サンプルから求めた基準輝度分布とを比較し、透明基板の同一断面での厚さを検査する比較手段とを備えた透明基板の検査装置である。

【0027】これは上記第1の発明方法を簡単な構造によって適切に実施することができ、その設備費や保守運転費を安価にすることができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面を用いて説明する。図1は本発明に係る透明基板の検査方法を実施するための検査装置を、水晶振動子用のコンベックスタイプの水晶ブランクに適用した一実施形態を示す概略構成図である。

【0029】前記検査装置は、偏光のない単色光源26と、光源26の光を拡散させて均一に照射する拡散板23と、拡散板23からの光を偏光にするポラライズ21と、複屈折媒質からなる透明基板としての水晶ブランク1を載せる載置台2と、水晶ブランク1を通過した光から前記偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光を通過

させアナライザ22と、対物レンズ12と、撮像手段であるCCDカメラ13と、白黒画像処理装置14とから構成される。上記単色光源26としては、ここでは輝度が高く、寿命の長い660nmの赤色LEDを使っている。なお、前記ポラライザ21、載置台2、アナライザ22はいずれも回転自在に設けて、回転角度を調整した後、固定できるように構成してある。ポラライザ21と載置台2との距離、およびアナライザ22と載置台2との距離はともに短いほどよい。また、必要に応じて水晶ブランク1に集光させるためのコンデンサレンズを拡散板23とポラライザ21との間に設けたり、水晶ブランク1の画像を背景から鮮明に浮き出させるためのコンベンサータをアナライザ22と載置台2との間に挿入してもよい。さらにアナライザ22と水晶ブランク1との間に、光軸に対して22.5°の角度で1/2波長板24を挿入して光の位相差を45°ずらすことができるようになっている。なお1/2波長板24は載置台2とポラライザ21との間に挿入してもよい。

【0030】前記検査装置で主に検査対象になる水晶ブランクは、図2(a)のように周辺部が薄くなり、中央部が厚くなった両凸形のコンベックスタイプの水晶ブランク1の他に、図2(b)のように略平板状タイプをラッピング(ステップ101)し、ベベリング加工して周辺部を研磨加工した後(ステップ102)、さらにエッチング処理して(ステップ103)、周辺部を除いて全面を平滑面としたベベリング加工の水晶ブランク17がある。ベベリング加工された略平板状の水晶ブランクとしては、例えば短冊状の場合には、通常、大きさが1×3mm〜3×10mmで、厚さが30μm〜500μm程度である。水晶ブランク17の形状は短冊形、矩形に限らず、直径4〜8mm程度の円形その他の形状のものもある。なお、コンベックスタイプの形状もほぼ同様である。

【0031】図1に示す前記画像処理装置14は、CCDカメラ13で撮像された水晶ブランク1の画像を取り込み、例えば2値化処理のように特徴を抽出し、抽出した特徴に基づいて加工データの蓄積、もしくは加工仕上りの判定処理を行う。

【0032】光源26からの照明光は拡散板23で拡散されて、ポラライザ21を透過することにより直線偏光に変換され、載置台2の上の水晶ブランク1に入射される。水晶ブランク1に入射した直線偏光は常光線と異常光線とに分れ、これらの光線は一方に対して他方に位相遅れが生じるため干渉が起きる。干渉は位相差と強度(振幅)によって異なり、位相差は水晶ブランク1の厚さtと波長λとにより定まり(図3(b)参照)、また強度はポラライザ21からの直線偏光と水晶ブランク1の主面となす角θによって定まる。

【0033】例えば周辺領域は暗部となり、中央領域は明部となり、厚さの違いによる位相差が可視化される。

よって白色光中、強め合う光と打ち消し合う光とのために、アナライザ22を出射する光は強弱の干渉光となる。この干渉光は対物レンズ12を透過してCCDカメラ13に入射する。水晶ブランク1の像はCCDカメラ13によって電気信号に変換され、画像処理装置14に転送される。画像処理装置14では周辺部に生じた暗部と、中央部に生じた明部とが明瞭に区別できるように統計処理を行う。例えば2値化処理によって暗部と明部とのコントラスト増強処理をする(図3(a))。処理後の暗部または明部を測定することにより、削り過ぎや削り不足または対称性などの加工仕上りを検査する。

【0034】なお、加工仕上り検査に適用できる観察法には、上述した偏光観察法の他に、位相差観察法、微分干渉観察法、変調コントラスト観察法など他の観察法も考えられるが、実施の形態で偏光観察法を採用したのは、光源はLEDでよく、ポラライザやアナライザなどの偏光フィルタはガラス板に偏光フィルムを貼り付ける程度のものでよく、最も安価かつ簡単だからである。

【0035】図4(a)は、図1の偏光観察法による水晶ブランク1の撮像画像を模式化したものである。水晶ブランク1は前述したようにコンベックスタイプである。光源26に単色光を使い、ポラライザ21、アナライザ22、載置台2を相互に回転して、水晶ブランク1の周辺部に最も明瞭に干渉縞が出たときの像である。厚さの薄い周辺部は位相差Δφがπの奇数倍となるため「暗」くなり、厚さの厚い中央部は位相差Δφがπの偶数倍となるため「明」るくなる。なお、水晶ブランク1の四隅が「明」るくなるのは、加工によるストレスやレンズ効果などから複屈折が大きくなるからであると考えられ、上述した厚さによる干渉縞とは別な現象である。

【0036】一方、図4(b)は、暗視野法による前記水晶ブランク1の撮像画像を示したものである。ここに暗視野法とは、前述した特許第2821460号による方法で、この場合、輪郭が白く浮き上がっているだけで、輪郭内部は一律に灰色をしており、内部に厚さの違いを可視化するような像を見出すことはできない。このようにコンベックスタイプのものは表面に傷が均一に存在するので、水晶ブランクの曲面の加工仕上りの検査には、傷に対して有効な暗視野法は適さない。

【0037】コンベックスタイプの水晶ブランクに光源からの光をポラライザにより偏光にして与え、水晶ブランクを通過した光から偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光をアナライザから取り出すと、偏光干渉によりループ状の干渉縞(等高線模様)がブランクの周囲に現われる。干渉縞はブランクの寸法が大きく厚ければ多数本生じるが、ブランクの寸法が小さく薄くなれば減少し、長辺4mm、短辺2mm、厚さ100〜200μm程度の小型の矩形ブランクでは外周に暗い干渉縞が僅かに1本生じるだけである。なお、実装機器の小形化により水晶ブランクの主力は小形のものに移っている。

【0038】ところで実施の形態は、干渉縞の形状と水晶ブランクの厚さに相関があることを前提としている。これにより干渉縞によって厚さの違いによる位相差が可視化でき、干渉縞の形状を検査することでコンベックスタイプの水晶ブランクの研磨状態を平面視で検査することが可能となり、研磨状態を知って円筒状バレル方式の改善のためのフィードバックできる。

【0039】そこで上記前提を検証するために、干渉縞と厚さとの関係について以下に考察する。この考察には、まず理論値を求め、つぎにその理論値を実験により裏付けするという手法をとっている。但し、この実験で使用するサンプルは、本来は実情に沿う小型の水晶ブランクを使用できればよいのであるが、実際には小型の水晶ブランクではなく、大型のコンベックスタイプの水晶ブランクとした。これは①大型の方が明瞭で複数の干渉縞が出る、②小型のものに比して大型の方がベンレコーダによる形状(厚さ)を実測しやすい、との理由からである。図5、図6は前述した大型サンプル(長辺8.25mm~7.0mm、短辺1.5mm~2.0mm、厚さ*

$$P = (n_o - n_e) t \cdot 2\pi / \lambda$$

となる。

【0042】式(1)から、位相差、常光線と異常光線の屈折率の差分、光源の波長がわかれば、水晶ブランクの厚さを求めることができることがわかる。水晶のY軸カ※

λ(オングストローム)	常光線の屈折率 n_o	異常光線の屈折率 n_e
5080	1.54822	1.55746
5893	1.54424	1.55335
7680	1.53903	1.54794

実施形態の水晶ブランクの検査には、光源に660nmの赤色LEDを使う。上記データを図8に示すように、横軸に波長、縦軸に屈折率をとりプロットして $\lambda = 660\text{nm}$ における常光線及び異常光線の屈折率の差分を求めると、

$$n_o - n_e = 0.009$$

となる。水晶デバイスはY軸カットではなく、周波数温度特性が良好なATカットが使用されるので、上記Y軸についての常光線、異常光線の屈折率の差分から、ATカット(約35°)水晶片の差分を求める必要がある。

【0044】ATカット水晶板の常光線、異常光線の屈折率は、Y-Z軸平面に常光線と異常光線の屈折率分布を描いた図9から求めることができる。紙面に垂直なX軸を中心として常光線の屈折率分布が描かれる円51と、異常光線の屈折率分布が描かれる楕円52とがY軸★

$$y^2/a^2 + z^2/b^2 = 1$$

である。ここで $a = n_o$ 、 $b = n_e$ である。

$$z = cy$$

である。ここで $c = \tan 35^\circ$ である。

【0048】楕円式(2)と直線式(3)の交点を求める ◆

$$y = \pm n_o \cdot n_e / (n_o^2 + n_e^2 \cdot \tan^2 35^\circ) \quad (4)$$

$$z = \pm n_o \cdot n_e \cdot \tan 35^\circ / (n_o^2 + n_e^2 \cdot \tan^2 35^\circ) \quad (5)$$

*400μm~450μm)で、2本と3本の黒縞がそれぞれ生じている画像を示す。図7は前述した小型のサンプル(長辺5.0mm~4.0mm、短辺1.5mm~2.5mm、厚さ100μm~200μm)で1本の黒縞が生じている画像をそれぞれ示す。

【1】理論値

さて水晶は複屈折性のデバイスであり、これに入射した光はその偏波面が互いに直交している常光線と異常光線とに分れて伝搬する。

【0040】水晶ブランクは位相板としての機能を有し、常光線と異常光線の位相速度の差によって所定の位相差を与える。1/4波長板は、直線偏光を円偏光に、または円偏光を直線偏光に、1/2波長板は、直線偏光をその入射偏波面と波長板の光学軸とのなす角 θ に対して、(2 θ)の回転を行う作用がある。

【0041】光源の波長を λ 、常光線の屈折率を n_o 、異常光線の屈折率を n_e 。とすると、水晶ブランクの厚さ t と位相差 P との関係は、

$$(1)$$

※ットの屈折率を特定波長に対して求めたのが下記データである。

【0043】

★と交わる各点 n_o 、 n_e がそれぞれY軸の異常光線屈折率、常光線屈折率であり、両点間の長さが、前述したY軸の異常光線屈折率と常光線屈折率との差分($n_o - n_e$)となる。

【0045】また、Z軸から約35°反時計方向にずれた角度位置にATカット表面が来る。水晶ブランクの偏光観察法では、この面に直交する方向に光が通過することになる。原点(X軸)を通る光の方向と記した直線53が前記円51と前記楕円52と交わる各点 n_o' 、 n_e' がそれぞれATカット水晶板の異常光線屈折率、常光線屈折率であり、両点間の長さが、ATカット水晶板(AT板)の異常光線屈折率と常光線屈折率との差分($n_o' - n_e'$)となる。まず、楕円と直線との交点を求め、次に真円と直線との交点を求める。

【0046】楕円の式は、

$$(2)$$

☆ ☆【0047】光の直線の式は、

$$(3)$$

◆と、

が得られる。

【0049】同様に楕円式(2)において $a = b = n *$

$$y = \pm n_0 / (1 + \tan^2 35^\circ)^{1/2} \quad (6)$$

$$z = \pm n_0 \cdot \tan 35^\circ / (1 + \tan^2 35^\circ)^{1/2} \quad (7)$$

が得られる。

※での両屈折率の差分

【0050】式(4)～(7)より、AT板に直交する方向※

$$(n_0' - n_0) = 0.006 \quad (8)$$

が得られる。

★縞間の位相差 $P = 2\pi$ 、光源波長 $\lambda = 660\text{nm}$ を代入

【0051】式(1)に、両屈折率の差分(8)及び干渉★

$$t = 660\text{nm} / 0.006 = 110\mu\text{m} \quad (9)$$

が得られる。サンプルは両凸形コンベックスタイプ(バ
イコンベックスタイプ)であるから、片方の厚さを計算☆

$$t = 110 / 2 = 55\mu\text{m} \quad (10)$$

が得られる。したがって 2π の位相差の変化量、すなわ
ち干渉縞間の厚さは $55\mu\text{m}$ である。

[2] 実験値

図10に示すように、ディスプレイに映った矩形水晶ブ
ランクのサンプル画像61の縞模様の輝度(明るさな
いし光量)を測定した。測定した縞模様は最外側の暗部6
3(輝度の最も落込んだ点)と最外側から1つ内側の暗
部62(輝度の最も落込んだ点)とした。サンプル中央
から1つ内側の暗部62までの距離 L_1 、1つ内側の暗
部62から最外側の暗部63までの距離 L_2 とし、さら
にエッジまでの距離を L とした。 $L \times 2$ がサンプル
の長辺となる。また同一サンプルをベースに接着固定し
て、 L_1 と L_2 間の高さ(厚さ) H をペンレコーダで測
定した。なお上記暗部は、長手方向の中心線に沿う輝度
分布の最も落込んだ箇所とした。測定サンプルは次の3
つである。

【0052】(1) サンプルA

$$L_1 = 2.85\text{mm}$$

$$L_2 = 0.95\text{mm}$$

$$L = 8.25\text{mm}$$

$$H = 55\mu\text{m}$$

(2) サンプルB

$$L_1 = 2.8\text{mm}$$

$$L_2 = 1.05\text{mm}$$

$$L = 8.25\text{mm}$$

$$H = 55\mu\text{m}$$

(3) サンプルC

$$L_1 = 3.15\text{mm}$$

$$L_2 = 0.7\text{mm}$$

$$L = 8.00\text{mm}$$

$$H = 55\mu\text{m}$$

【0053】上述した(1)～(3)のサンプルは、暗部間
の高さ H がいずれも理論値と同じ $55\mu\text{m}$ を示した。こ
こにベースへのサンプル固定に接着剤を使用したため、
接着剤の塗布厚のばらつきにより、サンプルの水平度を
確保できない場合もあったが、暗部間の相対的な高さを
求めたので、サンプルの水平度は誤差にはならない。ま

*。を代入した真円式と、直線式(3)の交点を求めると、

すると、

☆すると、

た前述した $55\mu\text{m}$ 中にどれくらいの誤差が含まれてい
るかを検討するために、サンプル表面の表面荒さを測定
した。図11に示すように、ピーク・ツウ・ピークの半
分が約 $1\mu\text{m}$ であることから、厚さの精度は10%程度
を見れば問題ないこともわかった。したがって、縞模様
はサンプルの厚さと相関があることが確かめられた。

【0054】[推論] 上記理論値および実験値は、長辺
が8mm台、厚さ $400\mu\text{m}$ 台の大型のサンプルに適用
したが、特に除外事項を設けなかったため、この結果は
小型のサンプルにも適用できるはずである。長辺4mm
台、短辺1mm台、厚さ $100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ 台の小
型のサンプルは、図7に示すように縞模様(暗部)は1
つしか生じない。したがって上記結果に基づく厚さ測定
はできない。しかし、サンプルの厚さとサンプル画像に
現れる輝度とは相関があることがわかったのだから、偏
光顕微鏡法で縞模様が1つしか生じなかった場合、あるい
は明確な縞模様が生じていなくても輝度変化が生じてい
る場合であれば、最適なしきい値を設定して干渉縞の輝
度の等しい点を結んだ等輝度線(山岳地形の等高線に相
当)を描くことで、その等輝度線上は同一厚さを示せる
ことになる。図12はそのような等輝度線を描いたサン
プル図である。これらのサンプルは厚さ約 $153\mu\text{m}$ 、
ブランク周波数10MHzである。

【0055】(a) サンプル(図12(a))

$$\text{長辺} = 04.324\text{mm}$$

$$\text{短辺} = 01.807\text{mm}$$

40 等輝度線形状: 綺麗な楕円

(b) サンプル(図12(b))

$$\text{長辺} = 04.328\text{mm}$$

$$\text{短辺} = 01.807\text{mm}$$

等輝度線形状: やや歪んだ楕円

(c) サンプル(図12(c))

$$\text{長辺} = 04.332\text{mm}$$

$$\text{短辺} = 01.806\text{mm}$$

等輝度線形状: 大きく歪んだ楕円

【0056】上述した(a)～(c)の短冊状コンベッ
クス振動子を組み立てて発振試験をしたところ、(a)

と(b)は周波数特性が良好で安定し、高いQ値が得られ、温度特性も良好であり良品であった。これに対して(c)は周波数特性が不安定で悪く、温度特性が悪く不良であった。この結果から、小型のサンプルに対しても偏光観察法が厚さ測定ひいては形状測定に有効であることがわかった。

【0057】ところで上述した実施の形態では、水晶ブランク像を上から見た等輝度線の形状からコンベックス加工の良否を判定するようにしたが、水晶ブランクの同一断面での厚さからコンベックス加工の良否を判定したいとの要請もある。むしろ周波数特性は断面形状との相

関が強いことから、こちらの要請が大きい。
【0058】そこで次に偏光観察法と水晶ブランクの断面形状との関係を検討する。上述したように偏光観察法で輝度変化が生じている場合であれば、最適なしきい値を設定して輝度の等しい点を結んだ等輝度線を描くと、その等輝度線上は同一厚さを示す。これをさらに進めると、輝度値を水晶ブランクの長さ方向あるいは幅方向に連続してプロットしていけば、その輝度変化は同一断面での厚さの変化そのものを示すことになる。この輝度変化は、図5(b)～図7(b)に、中心線に沿った輝度分布図として示されている。この輝度分布はマリュウの法則から位相差Pの \sin 関数(ないし \cos 関数)で表わせ、位相差Pは式(1)から厚さtに比例することがわかるから、縞模様が2本以上ある図5(b)～図6

(b)の輝度分布は \sin 関数で表わすことができる。同様に縞模様が1つしか生じないか、明確な縞模様が生じていないような小型で薄いサンプル例である図7

(b)の輝度分布も \sin 関数で表わせる。

【0059】この輝度分布から水晶ブランクの同一断面での厚さを検査することができる。これを説明する。図13および図14に、水晶ブランクの断面と輝度分布波形の位相との関係を示す。ここでは単純化するため透過の減衰量は無視している。図13は一定の角度で研磨されたベベリング加工の場合を示し、波形の位相は等間隔になる。厚さが一定の場合、輝度は変化がなくフラットになる。これに対して図14は中心部に近づくにしたがって研磨量が小さくなるコンベックス加工の場合を示し、中心部に近づくにしたがって輝度波形の位相が少しずつ広がるように変化している。この位相と輝度の関係は式(1)と相関があることは前述した通りである。

【0060】図14の実線で示すように、複数周期の輝度分布が観察できれば、分布波形の山(黒点)間の厚さが $55\mu\text{m}$ となるので、これを中心部に向かって $55\mu\text{m}$ ずつ厚くなるようにプロットしていき、プロット点を外挿するという手法を使用すれば、水晶ブランクの断面形状を容易に描くことができる。このとき分布波形の谷(白点)間もプロットしていけば、黒点間を補完できるので、外挿の精度が上がり、より正しい断面形状が得られる。

【0061】このように輝度分布波形が複数周期観察できれば容易に断面形状を描くことができるのであるが、水晶ブランクが薄いために、点線で示すように輝度分布波形が1周期も観察できないようなときは、上記手法が使えない。そこで点線で示した輝度分布波形からでも断面形状が得られる新たな手法を開発した。以下、説明する。

【0062】図15にコンベックス加工仕上りの異なる3種類の、小型で薄い水晶ブランク(長辺 5.0mm ～ 4.0mm 、短辺 1.5mm ～ 2.5mm 、厚さ $100\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$)の定性的な研磨量分布図を示す。横軸に水晶ブランクの長さを、縦軸に研磨量を取っている。中央部が厚くなった両凸形コンベックスタイプの水晶ブランクの中心部より左側部分の上半分を示している。同図においてSSは標準サンプル、USは削り不足サンプル、OSは削り過ぎサンプルである。標準サンプルSSから研磨量がずれて削り不足サンプルUS側に大きくシフトしたり、あるいは削り過ぎサンプルOS側に大きくシフトしたりすれば不良である。良品は標準サンプルSSを含めて、その近傍の許容範囲となる。

【0063】図16に、このような3種類の水晶ブランクの研磨量分布に対応する、偏光観察法で得られた輝度分布図を示す。水晶ブランクは標準サンプルが小型で薄いので、輝度分布は1波長分もない。観察時に中心部に輝度の最大ピークが来るように調整すると、標準サンプルSSは、中心部から左端に向かって \sin 関数で落込んでいき最小ピークを経た後上昇して再び最大ピークに至る前で切断される。水晶ブランクが存在しないからである。この切断点では他のサンプルも同様に、 \sin 関数とは連続あるいは不連続で値が大きくなるが、それは位相の違いというよりも、前述したようにレンズ効果で強調されるからと思われる。削り不足サンプルUSは標準サンプルSSに比べて周期が長く、輝度は中心部から左端に向かって緩慢に落ちていく。削り過ぎサンプルOSは反対に標準サンプルSSに比べて周期が進み、かつ中心部における最大ピークが小さくなる。

【0064】このように標準サンプルSSと、削り不足サンプルUSあるいは削り過ぎサンプルOSとの輝度分布差が明瞭に現れるので、標準サンプルSSの輝度分布に対する被検査水晶ブランクの検出輝度分布のずれを知れば、コンベックス加工の断面形状の良否を判定することができる。

【0065】つぎに標準サンプルSSの輝度分布に対する検出輝度分布ずれを検査する手順を説明する。

【0066】ここで前述した等輝度線の形状からの加工仕上り検査と共通する操作は、次のとおりである。図1において、光源26からの光をポラライザにより偏光にしてコンベックス加工した複屈折媒質からなる水晶ブランク1に与え、水晶ブランク1を通過した光から偏光に対し所定の角度をなす偏光状態の光を通過させる。これ

により図3に示すように、偏光干渉により厚さの違いによる位相差を明暗のコントラストで可視化でき、通過した偏光状態の光の水晶ブランク1のコントラスト像をビデオ画像として撮り、画像処理装置14に転送して、これをコントラスト増強処理するために、さらに加工仕上り検査のためのデータを得るために2値化データを統計処理する。

【0067】なお、加工仕上りの検査をするに際して、あらかじめ光源26の光量、ポラライザ21、アナライザ22、載置台2の回転角度を互いに調整して、画像上に顕れる干渉縞が加工仕上り検査に最適となるように、これらの光量、角度を調整する。

【0068】図17において、まず検査装置のキャリブレーションを行うために、水晶ブランクの標準サンプルを載置台2に載置する(ステップ201)。ここで標準サンプルはマイクロメータで測定したもので、所望の周波数を発振する厚さをもつものを使う。標準サンプルの同一断面での中心部が最大の輝度になるように、アナライザ22またはポラライザ21を光軸を中心に回転して、そのときの中心部の輝度ピーク値を取得する(ステップ202～ステップ204)。取得したら光軸に対して1/2波長板24を22.5°の角度で挿入して光の位相差を45°ずらし、そのときの中心部の輝度値を取得する(ステップ206)。取得後1/2波長板24を抜き取る(ステップ207)。

【0069】図16の標準サンプルの輝度分布図において、中心部の輝度ピーク値はA点に相当する。また45°ずらしたことにより、中心部の輝度が落ちるが、その点は標準サンプルの輝度分布図で言えば、ちょうど位相が45°ずれたB点に相当する。45°としたのは、輝度分布がsinの1波長分ない場合であっても、検査できるようにするためである。中心部の輝度の最大値と前記位相差45°の値の2点を通るsin波形を求め(ステップ208)、これをディスプレイに表示する(ステップ209)。これは図16の標準サンプルのsin関数を求めることに他ならない。このsin波形を、位相差を可視化して得られる標準サンプルの同一断面における基準輝度分布波形とみなす。このように実際の輝度分布から得た生データではなく、敢えて理想となる基準輝度分布波形を計算式で求めるのは、バラツキが予想される標準サンプルを使用するよりも、正確で修正が容易に出来、しかも基準値に汎用性を持たせることができるためである。なお、基準輝度分布波形を生データとしてもよい。

【0070】つぎに、被検査水晶ブランクを検査するために被検査水晶ブランクを載置台2に載置する(ステップ210)。被検査水晶ブランク輝度分布を中心線に沿って求め、その結果得た被検査水晶ブランク輝度分布波形を表示する(ステップ211)。表示された検出輝度分布波形と基準輝度分布波形とを比較して、水晶ブラン

クの同一断面での厚さを相対的に検査して良否を判定する(ステップ212)。この検査内容としては、基準輝度分布波形に対する検出輝度分布波形のずれが許容値を越えたとき不良とし、許容値内であれば良品とする。または、コンベックス加工データを収集するのであれば、上記ずれ量を求めて正規分布特性を得ることも可能である。これにより被検査水晶ブランクの相対的な同一断面での厚さの形状を知ることができる。なお、輝度分布波形自体を比較するので、輝度分布波形の全体形状、縦軸の輝度、横軸の位相を知ることができる。

【0071】上述したように水晶ブランク画像を上からではなく断面から見て、どれだけ削られているかを判断できるので、コンベックス加工の良否を正確に検査できる。また45°の位相差をもつ2点の輝度値から基準輝度分布となるsin関数を求めるので、1波長はもちろん半波長の輝度分布も現れないような小型で薄い水晶ブランクであっても適切な断面形状の検査が可能となる。このことは小形化薄形化が一層進んでいる水晶振動子にあっては特に意義がある。

【0072】また、画像処理を使ってコンベックス加工仕上り状態を全数検査できかつリアルタイムで瞬時に把握でき、データも大量に統計処理して得られるので、水晶ブランクの品質管理が可能となる。特に、偏光観察時のコンベックスタイプの加工仕上りデータを生かすことにより、コンベックス加工の標準化、しいては信頼性の高いGO/NO GOの選別が可能となる。また、統計的手法が使えるので、傷検出、コンベックス加工、ベベリング加工やその後に行われる酸処理にバラツキが生じても、最適なしきい値を決定できるため、許容値を弾力的に取ることができ、そのような許容値を検査基準に設定することにより、良品を不良品としたり、不良品を良品としたりすることがない。

【0073】なお、実施の形態では画像をモノクロとしたがカラーでもよい。また、偏光観察用光源に特定波長の単色光を使用したのが、原理的には白色光源を使用することも可能である。また、偏光観察用光源に660nmの赤色LEDを使用したのが、これに限定されない。これより短い波長の光を使うことは、より多くの干渉縞が顕れるため、測定精度を向上するうえで好ましい。

【0074】また、実施の形態では干渉縞が生じることを前提としたが、輝度(光量、明るさ)と厚さとの相関があるのであるから、輝度分布が生じればよく、輝度分布を表示して、標準分布と比較することにより、コンベックスタイプの水晶ブランクの断面形状の加工仕上りを検査できる。

【0075】レーザのように光源の波長が短ければ、あるいは波長を適倍して短波長を得れば、多数の干渉縞を生じさせることができるので、断面形状を容易に検査できる。しかしレーザ光源も適倍器も高価であるため、安価な水晶ブランクを検査するには実用的でない。その点

で本発明のものは安価なLEDを使って明暗を生じさせるだけで、断面形状を測定できるので頗る実用的である。

【0076】

【発明の効果】本発明方法によればコンベックスタイプの断面形状検査を偏光観察法で行うことが可能となり、偏光観察法で得た検査データをコンベックス加工の管理指標とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態による透明基板のコンベックス検査方法を実施するための検査装置の概略構成図である。

【図2】実施形態の検査方法に最適なケースの説明図であり、(a)はコンベックスタイプの水晶ブランクの断面図、(b)はベリング工程図である。

【図3】偏光観察による説明図であり、(a)は2値化画像、(b)は水晶ブランクの厚さを説明する断面図である。

【図4】コンベックスタイプの水晶ブランクの2値化前の画像を示し、(a)は実施形態の偏光観察法により観察された水晶ブランクの画像、(b)は暗視野観察法により観察された同ブランクの画像である。

【図5】大型サンプルの縞模様と輝度の画像を示す説明図であり、(a)は平面図、(b)は中心線に沿った輝度分布図である。

【図6】大型サンプルの縞模様と輝度の画像を示す説明図であり、(a)は平面図、(b)は中心線に沿った輝度分布図である。

【図7】小型サンプルの縞模様と輝度の画像を示す説明図であり、(a)は平面図、(b)は中心線に沿った輝度分布図である。

【図8】水晶ブランクのY軸の屈折率を特定波長に対し求めたプロット図である。

【図9】ATカット水晶板のY-Z軸平面における常光*

*線と異常光線の屈折率分布図である。

【図10】ディスプレイに映った矩形水晶ブランクのサンプル画像の縞模様の発生位置を示す説明図であり、

(a)は平面図、(b)は要部拡大断面図である。

【図11】サンプル表面の表面荒さを示す説明図である。

【図12】等輝度線を描いた3つの小型サンプルの画像を示す平面図である。

【図13】水晶ブランクをベベリング加工したとき位相と輝度分布波形を示す特性図である。

【図14】水晶ブランクをコンベックス加工したときの位相と輝度分布波形を示す特性図である。

【図15】実施形態によるサンプルの研磨特性図である。

【図16】図13のサンプルに対応する輝度分布図である。

【図17】実施形態による被検査水晶ブランク断面形状の検査用のフローチャートである。

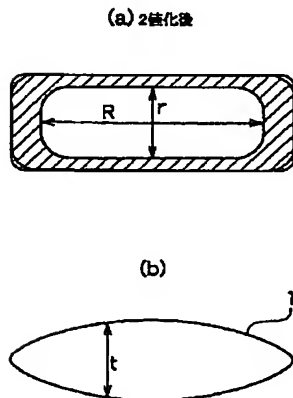
【図18】コンベックス(ベベリング)加工を行う円筒状バレル方式の説明図である。

【図19】従来のレベル測定法で得た高さデータを水晶ブランクの長さ方向にプロットした特性図である。

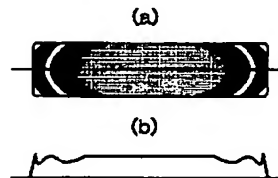
【符号の説明】

- 1 水晶ブランク(透明基板)
- 2 載置台
- 12 対物レンズ
- 13 CCDカメラ
- 14 画像処理装置
- 21 ポラライザ
- 22 アナライザ
- 23 拡散板
- 24 1/2波長板
- 26 光源

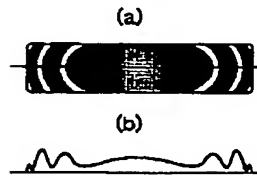
【図3】



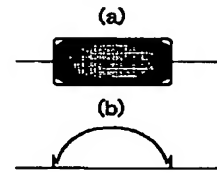
【図5】



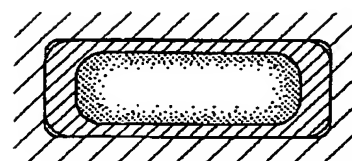
【図6】



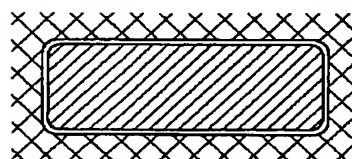
【図7】



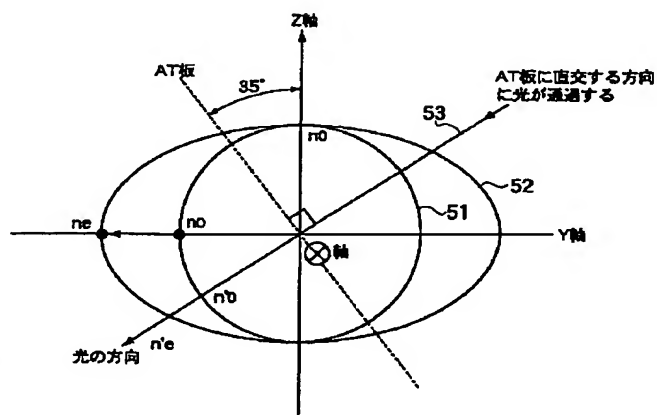
【圖 4】



(b)

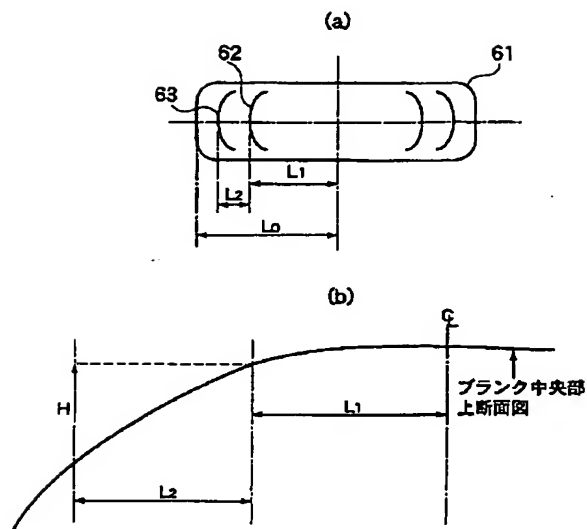


【図9】

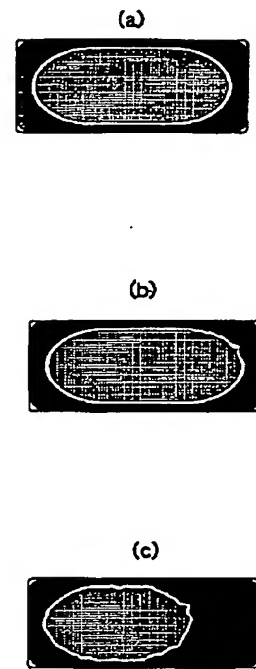


0,00891

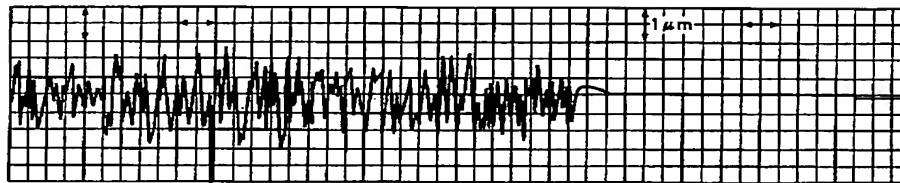
【図10】



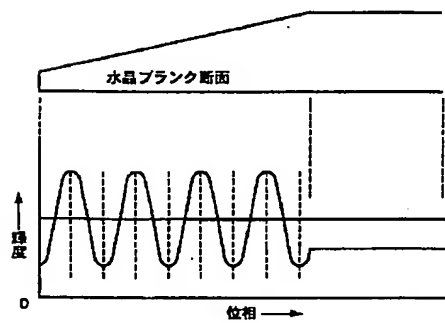
【図12】



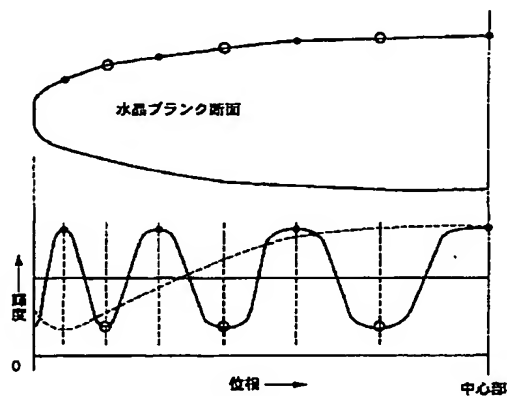
【図11】



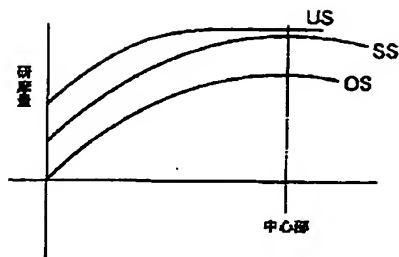
【図13】



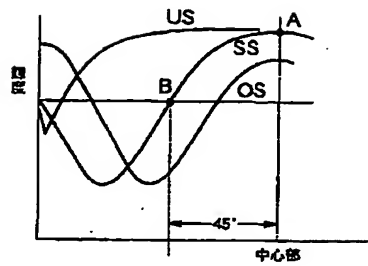
【図14】



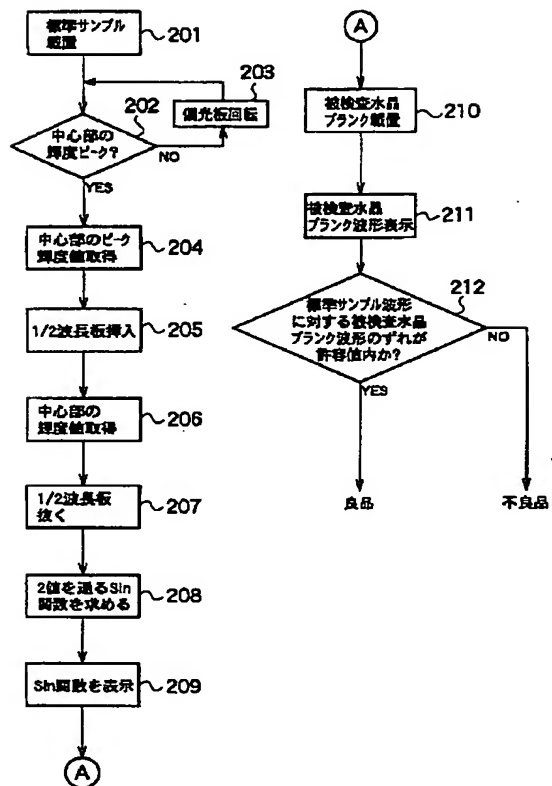
【図15】



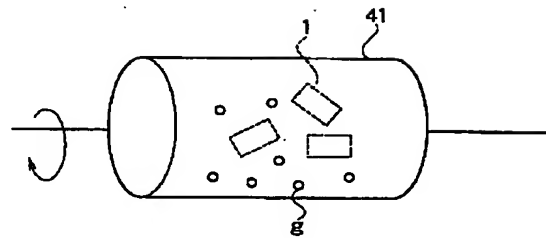
【図16】



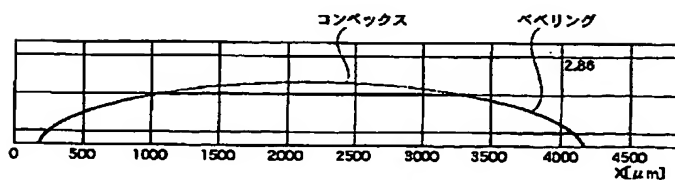
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA30 AA52 BB22 CC00 DD06
FF01 FF04 FF51 FF61 GG07
GG22 HH09 JJ03 JJ26 LL33
LL34 LL35 LL49 PP13 QQ04
QQ13 QQ25 QQ29 QQ31 QQ41
SS04 TT03
2G059 AA05 BB15 CC20 DD20 EE05
EE09 FF06 GG02 GG04 GG10
HH02 HH06 JJ19 JJ21 JJ26
KK04 MM02 MM05 MM09 PP04
2H052 AA04 AC05 AF03 AF14 AF25